ISSN 1405-0471

Madera y Bosques


INSTITUTO DE ECOLOGIA, A.C.

OTOÑO 2012 18(3)
Xalapa, Ver.

MADERA y BOSQUES
Vol. 18 Núm. 3 Otoño de 2012

Madera y Bosques, es una publicación del Instituto de Ecología, A.C., que edita la Red de Ambiente y Sustentabilidad. Los trabajos que publica tratan los temas de tecnología de productos forestales y del campo forestal en general, con énfasis en ecología forestal y manejo forestal. Se aceptan trabajos en español, inglés y ocasionalmente en otros idiomas. Su objetivo principal es constituirse en un medio de difusión de la investigación científica. Asimismo, publica contribuciones técnicas y estados del arte que incidan en el medio nacional e internacional. Es una publicación cuatrimestral que aparece en primavera, en verano y en otoño.

Madera y Bosques, Vol. 18 Núm. 3 de 2012. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2012-102312120900-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 12906. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 10479. Domicilio de publicación: Carretera Antigua a Coatepec núm. 351. El Haya. 91070. Xalapa, Ver., México. Imprenta: Tavera Hermanos, S.A. de C.V. Av. Lázaro Cárdenas 3052. Col. Chapultepec Sur. 58260, Morelia, Michoacán.
La suscripción anual para 2012 es de $450.00+$225.00 para gastos de envío al interior de la República y $50.00 USD al extranjero (no incluye gastos de envío). Precio por ejemplares sueltos $200.00 y $20.00 USD, respectivamente. Incluye costos de envío por correo aéreo. Suscripciones en México en International Magazine Subscriptions, Tenochtitlan núm. 26 L10 M7, Ampl. Tlacuitlapa, 01650 México, D.F. México, Tel/Fax (55) 5643-2939, ce:mmaximomx@yahoo.com.mx. Donaciones e intercambios, en el Instituto de Ecología, A.C., al c.e:libros@inecol.edu.mx. La reproducción total o parcial de los artículos podrá hacerse con el permiso expreso de los editores. Esta revista forma parte de los índices y portales de difusión ISI Web of Science (Science Citation Index Expanded), Journal of Citation Records (JCR), Revistas Mexicanas de Investigación en Ciencia y Tecnología (IRMICyT) del CONACYT, Redalyc, Dialnet, Periódica, Índice Iberoamericano de Información en Ciencia y Tecnología, SCOPUS, Actualidad Iberoamericana, CAB Forest Products Abstracts, Latindex y Seriunam.

MADERA Y BOSQUES

Vol.18 Núm. 3 Otoño de 2012

CONTENIDO



Nuestra portada: Imágenes de *Hura polyandra.*

Autor: Elizandro Pineda Herrera.

MADERA Y BOSQUES

Vol.18 Num. 3 Autumn 2012

TABLE OF CONTENTS



Our cover: Images of *Hura polyandra*.

Author: Elizandro Pineda Herrera.

Termina en México un sexenio que resultó complicado en materia de seguridad, educación, empleo y desarrollo en general. No es posible hacer un juicio objetivo a tan pocos días de la conclusión formal del gobierno anterior, lo que será hecho más adelante con mucha mejor claridad por analistas e historiadores que tengan el beneficio del estudio profundo y la reflexión mesurada que se requieren. Es más conveniente en este momento valorar y seguir con cuidado las acciones del nuevo gobierno. A los interesados en el tema forestal nos será de particular interés observar y seguir con detenimiento las actividades oficiales de los responsables de la política ambiental del país, entendida en su acepción más amplia, que incluye el manejo de los recursos naturales del país. Son tres las dependencias que dentro de este ámbito, tienen mayor influencia y capacidad de decisión en este país: la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y la Comisión Nacional Forestal (Conafor). Sus titulares y sus colaboradores tienen una enorme responsabilidad por el tamaño de los retos que enfrenta el país. En el mejor de los escenarios, no tendrán una tarea fácil y los legisladores y partidos políticos harían bien en dejar de lado sus diferencias y apoyar los planes que estas dependencias presenten, siempre que éstos cuenten con un sustento técnico y científico sólido. Solamente así podrán entregar todos ellos, legisladores, partidos políticos y autoridades, buenas cuentas a la sociedad a la que deben sus puestos. Esperemos que la cordura y sensatez prevalezcan y que al final de su encomienda sexenal el gobierno entregue a sus sucesores un país mejor que el que ha recibido para administrar por seis años. Por parte nuestra, seguiremos contribuyendo de manera decidida a la difusión de la ciencia y tecnología forestal y de los productos forestales que se genera en este país y en otros países hermanos, para aportar nuestro granito de arena al desarrollo nacional y de otras latitudes.

En el último número de 2012 ofrecemos cuatro artículos del mayor interés científico y tecnológico. El primero presenta el potencial y eficiencia de producción de semilla de una especie de pino del estado de Durango, México. Como parte de este trabajo se estudió la producción de tres rodales semilleros y se cuantificó el potencial productivo, las semillas desarrolladas, óvulos abortados en el primero y segundo año de desarrollo, y escamas infértiles superiores e inferiores. De cada rodal se escogieron al azar semillas, a las cuales se les hicieron pruebas de rayos X para cuantificar: semilla llena, vana y dañada por insectos; además, se determinó su germinación. También se midió el daño por insectos registrando el porcentaje de semilla afectada. El objetivo final fue calcular la eficiencia de producción de semilla en los tres rodales estudiados.

El segundo trabajo se refiere a la evaluación de las características del fruto de huizache para su posible uso en curtiduría o alimentación animal. El huizache es una especie silvestre que podría ser utilizada como forraje. Se realizó un estudio para determinar análisis químico proximal (AQP), perfil de aminoácidos y degradabilidad de la materia in situ, en borregos pelibuey fistulados, utilizando el fruto (cáscara y semilla) del huizache, sin tratamiento alguno y con extracción previa de taninos. Los taninos fueron evaluados por los métodos ALCA y número de Stiasny. Se midió la proteína contenida en la semilla cruda y en la cáscara. Los aminoácidos presentes en mayor proporción fueron histidina, valina, treonina, leucina e isoleucina, mientras que lisina y metionina+cisteína fueron los

de menor presencia. La cáscara presentó taninos del tipo condensados y del tipo curtiente, en proporciones mayores que en la semilla. La variable presencia/ausencia de taninos fue la de mayor efecto en los parámetros, por lo que la mayoría de los indicadores en AQP disminuyeron en muestras sin taninos. Asimismo, la extracción de taninos mejoró la asimilación del material en el rumen de los borregos.

El tercer artículo describe la caracterización química y morfológica de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. Se analizaron porcentajes de α-celulosa, holocelulosa, lignina y cenizas. Se determinaron las propiedades biométricas de las fibras de cada planta (longitud y diámetro, grosor de la pared y diámetro del lumen). Además, se estimaron los índices de calidad de pulpa para papel. Este estudio se hizo con la finalidad de tener información de ambas plantas para su posterior tratamiento de pulpeo, blanqueo y mezcla, para la obtención de una pulpa celulósica óptima, a partir de sus residuos. Los resultados indican que el contenido de holocelulosa en las hojas de mazorca se encuentra en el intervalo de los materiales usados comúnmente en la producción de pulpa para papel y es cercano al observado en el bagazo de caña. La caracterización morfológica de las fibras mostró que la longitud de las mismas es muy parecida, no así el ancho, el espesor y el lumen. Las hojas de mazorca de maíz presentaron fibra con mejores características para la fabricación de una pulpa óptima, al situarse en el intervalo de "muy buena", según la clasificación de Runkel. Por su parte, la fibra de bagazo de caña, presentó características "buenas".

El último trabajo de este número presenta las características tecnológicas de la madera de dos especies de Costa Grande, Guerrero, México. Se describen las características anatómicas, físicas, mecánicas y tiempo de secado al aire libre de la madera, recolectadas en una selva mediana subcaducifolia de Zihuatanejo de Azueta, Guerrero, México. De cada característica se hizo un análisis estadístico y se clasificaron de acuerdo con la media. Para el secado al aire libre se acomodaron tablones y prismas en una pila. Las especies presentan vasos de diámetro mediano, radios uniseriados, extremadamente bajos y fibras de longitud mediana de diámetro fino. Presentan diferencias en el número de poros y la longitud de los vasos, en el número y anchura de los radios, en el grosor de la pared de las fibras y en la anchura de los anillos de crecimiento. En las propiedades físicas, difieren en la densidad, en su coeficiente de anisotropía y en el punto de saturación de la fibra. Las contracciones son bajas, excepto la radial de E. cyclocarpum que es muy baja; esta especie es poco estable y H. polyandra es muy estable. Los valores de las propiedades mecánicas y el tiempo de secado son diferentes entre ambas especies.

Son cuatro manuscritos de la mayor relevancia y deben servir de útil referencia para estudios posteriores además de cumplir su función principal que es aportar nuevos conocimientos para los usuarios del valioso recurso forestal.

Raymundo Dávalos Sotelo
Editor

EDITORIAL

In Mexico ends a six-year term which proved complicated in terms of public security, education, employment and development in general. It is not possible to make an objective judgment within days of the formal conclusion of the previous Government, which will be done later with much better clarity, by analysts and historians who have the benefit of deep study and measured reflection required. It is more convenient at this time to value and carefully follow the actions of the new Government. Stakeholders in the forest subject will have particular interest in observing and following closely the official activities of the people responsible for the environmental policy of the country, understood in its broadest sense, which includes the management of the natural resources. There are three dependencies that have the greater influence and decision-making capacity in this country within this field: the Secretariat of Environment and Natural Resources (Semarnat), the National Water Commission (Conagua) and the National Forestry Commission (Conafor). Their directors and their collaborators have an enormous responsibility due to the size of the challenges facing the country. In the best case scenario, they will not have an easy task and the legislators and political parties would do well to put aside their differences and support the plans that these dependencies submit, provided that they have a solid technical and scientific support. Only thus, they all can deliver, legislators, political parties and authorities alike, good accounts to society to which they owe their jobs. Let us hope that sanity and common sense prevail and that at the end of its six-year tour of duty, the Government delivers to his successors, a better country than the one they have received for managing for six years. For our part, we will continue to contribute decisively to the dissemination of science and technology forestry and forest products generated in this country and in other fraternal countries, to contribute our grain of sand to national development and of other latitudes.

In the latest issue of 2012 we offer four articles of the highest scientific and technological interest. The first presents the potential and efficiency of production of seed of a species of pine growing in the State of Durango, Mexico. The potential and efficiency of seed production was evaluated in three seed stands. In each stand 10 trees were selected, separated by a minimum distance of 50 m; from each tree 10 cones were collected, they were air dried to loosen the scales and then quantify: productive potential, developed seeds, ovulating abortion in the first and second year of development and, infertile upper and lower scales. In each stand seeds were randomly chosen and X-ray tested to measure: full seed, vain and damaged by insects. Moreover, through germination tests were determined: speed and capacity of germination. The ultimate objective of the study was to evaluate seed production efficiency.

The second papers deals with the evaluation of characteristics of huizache fruit for potential use in leather tanning or animal feeding. A study was performed on the fruit of huizache (husk and seed) in both, untreated samples and samples with pre-extraction of tannin, for the determination of chemical proximal analysis (QPA), aminoacid profile, and in situ degradability , in fistulated pelibuey sheep specimens. Tannins were evaluated using the FTAA and the Stiasny-number technique. QPA analysis showed high protein content in raw seeds, higher than husk content. Samples showed high concentrations of histidine, valine, threonine, Histidine and arginine, but low concentrations of lysine and

methionine + cysteine. The tannin content was of condensate type and of tanning type in both husk and seed. The presence/absence of tannin had the greatest effect on the parameters studied. The most of the indicators in PQA decreased in samples without tannins. Tannins´ extraction improved digestibility into the rumen sheep´s.

The third article refers to the characterization of maize leaves and of sugar cane bagasse for the elaboration of a mixed cellulosic pulp. Percentage of α - cellulose, holocellulose, lignin and ashes for each component, were analyzed. Biometric properties of each plant fibers (length and diameter, wall thickness and lumen diameter) were determined. Indices of quality of paper pulp for paper were also estimated. This study was conducted in order to get information of both plants for further treatment of pulping, bleaching and mixing, to obtain an optimal cellulosic pulp, from their waste. The results indicate that the content of holocellulose in the leaves of maize ear is in the range of materials commonly used in the production of pulp for paper and is close to that observed in sugarcane bagasse. Morphological characterization of fibers showed that the length of them is very similar, unlike the width, thickness and lumen diameter. Corn cob leaves presented fiber with best features for an optimal pulp manufacturing. They were "very good", according to Runkel´s classification. For its part, sugarcane bagasse fiber, presented "good" features.

Finally, a fourth paper refers to the technological characteristics of two wood species from Costa Grande, Guerrero, México. The anatomical, physical, and mechanical features, and drying time of wood collected in a semideciduous forest of Zihuatanejo de Azueta, Guerrero, Mexico, are described. For each feature measured, univariate statistical analyses were performed and results were classified according to the mean. For air drying time tests, boards and prisms were placed in a stack with spacers between them. The species have medium diameter vessels, extremely low uniseriate rays, and medium length fibers of fine diameter. They differ in the number of pores and the length of the vessels, the number and width of rays, on the wall thickness of fibers and the width of the growth rings. For the physical properties, shrinkage values are low, except the radial shrinkage for E. cyclocarpum, which is very low. This species is dimensionally not stable whereas H. polyandra is highly stable. There are significant differences between species in the mechanical values and the drying time.

These are four manuscripts of the greatest relevance and should serve as a useful reference for further studies in addition to performing its main function which is to provide new knowledge to users of valuable forest resources.

Raymundo Dávalos Sotelo
Editor

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Potencial y eficiencia de producción de semilla de *Pinus engelmannii* Carr., en tres rodales semilleros del estado de Durango, México

Potential and efficiency of seed production of *Pinus engelmannii* Carr., in three seed stands of the state of Durango, Mexico

Verónica Bustamante-García[1], José Ángel Prieto-Ruíz[2], Enrique Merlín-Bermudes[2], Rebeca Álvarez-Zagoya[3], Artemio Carrillo-Parra[4] y José Ciro Hernández-Díaz[5]

RESUMEN

Se determinó el potencial y la eficiencia de producción de semilla de *Pinus engelmannii* Carr. en tres rodales semilleros: El Encinal y Las Cumbres, municipio de Durango, Dgo. y La Florida, municipio de San Dimas, Dgo. En cada rodal se seleccionaron 10 árboles, con una separación mínima de 50 m; de cada árbol se colectaron 10 conos, éstos fueron secados al aire libre para desprender las escamas y cuantificar potencial productivo, semillas desarrolladas, óvulos abortados en el primero y segundo año de desarrollo, y escamas infértiles superiores e inferiores. De cada rodal se escogieron al azar 400 semillas, a las cuales se les hicieron pruebas de rayos X para cuantificar: semilla llena, vana y dañada por insectos; además, se determinó su germinación. Se encontró que en el rodal El Encinal existió el más alto potencial productivo con 171,9 semillas por cono, así como de semilla desarrollada con 143,7 semillas por cono. En Las Cumbres se registraron los mejores valores de semilla llena (77,2%) y de germinación (98,1%). El mayor aborto de óvulos en el primer año ocurrió en La Florida con 38,2 semillas por cono, lo que refleja autopolinización o daño por *Leptoglossus occidentalis* Heidemann en las primeras fases de desarrollo de la semilla. El daño por insectos más intenso se observó en El Encinal con 7,0% de la semilla afectada. La mayor eficiencia de producción de semilla se encontró en Las Cumbres con 66,9%, mientras que en El Encinal y La Florida el porcentaje fue menor a 41,0%.

PALABRAS CLAVE:
Germinación, insectos de conos y semillas, potencial productivo, rayos X, semillas desarrolladas.

ABSTRACT

The potential and efficiency of seed production of *Pinus engelmannii* Carr. it was determined in three seed stands in the state of Durango (El Encinal and Las Cumbres, municipality of Durango, and La Florida, municipality of San Dimas). In each stand, 10 trees were selected, separated by a minimum

1 Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. C.e.: veronica_bg80@hotmail.com
2 Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP. C.e.: jprietoviv@yahoo.com, emerlib@yahoo.com
3 Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-IPN Unidad Durango. C.e.: raz_ciidir@yahoo.com
4 Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. C.e.: arte_carr@hotmail.com
5 Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango. C.e.: jciroh@hotmail.com

distance of 50 m; from each tree 10 cones were collected, they were air-dried to loosen the scales and then quantify: productive potential, developed seeds, ovule abortion in the first and second year of development and, infertile upper and lower scales. In each stand, 400 seeds were randomly chosen and then X-ray tested, to measure: full seed, vain and damaged by insects. Moreover, through germination tests, speed and capacity of germination were determined. It was found that at the stand El Encinal existed the highest potential production with 171.9 seeds per cone and also the best seed developed with 143.7 seeds per cone. At Las Cumbres, the best values of filled seed (77,2%) and germination (98,1%) were found. The largest ovule abortion in the first year occurred in La Florida with 38,2 seeds per cone, reflecting autopollination or damage by *Leptoglossus occidentalis* Heidemann in the early stages of seed development. The most intense insect damage was observed at El Encinal with 7,0% of affected seed. The largest seed production efficiency was found at Las Cumbres with 66,9%, while in El Encinal and La Florida the percentage was lower than 41,0%.

KEYWORDS:
Germination, cone and seed insects, potential production, X-rays, developed seeds.

INTRODUCCIÓN

En México, las plantaciones forestales se han realizado desde el tiempo de los aztecas, quienes plantaban ahuehuetes en el Valle de México (Rodríguez, 2007). Actualmente, esta práctica es una alternativa para disminuir la presión a los bosques y selvas, al satisfacer la demanda de productos y servicios forestales (Madrid, 2009); además, las plantaciones y reforestaciones permiten contrarrestar la degradación del suelo debido a incendios forestales, actividades antropogénicas y agentes naturales (Cuevas *et al.*, 2007).

Uno de los problemas principales de las plantaciones forestales y reforestaciones es el alto porcentaje de mortalidad; durante el periodo 2006-2009 fue de 44% al año de plantado (Universidad Autónoma Chapingo-Gerencia de Servicios Profesionales, 2007; Colegio de Postgraduados, 2008; Universidad Autónoma de Nuevo León, 2009; Universidad Autónoma Chapingo, 2010). Las causas de mortalidad de la planta son diversas, entre ellas destacan: *a)* fechas de plantación inadecuadas (36,0%), *b)* sequías (18,0%) y *c)* calidad deficiente de la planta (13,0%); el resto de factores adversos (33,0%) son pastoreo, falta de protección y mantenimiento, así como selección inapropiada de especies y manejo deficiente de la semilla, entre otros (Prieto y Martínez, 2006; Universidad Autónoma Chapingo-Gerencia de Servicios Profesionales, 2007).

Para que un programa de reforestación alcance sus objetivos, se debe atender con eficiencia cada componente de la cadena productiva, que incluyen la obtención y manejo de semilla, producción de planta, establecimiento de plantaciones y su seguimiento en campo (Prieto y López, 2006). Una solución para obtener semilla de calidad a corto plazo y a bajo costo, es detectar o establecer zonas con condiciones aceptables para la producción de semilla de buena calidad, como son los rodales semilleros, áreas y huertos semilleros (FAO, 1991). En México, el abasto de semilla para los programas de producción de planta se hace principalmente de rodales naturales y en menor escala en áreas semilleras. Los rodales semilleros carecen de manejo para aumentar la ganancia genética de la semilla. En las áreas semilleras se eliminan los árboles mal conformados para dejar los que posiblemente tengan mejor calidad genética (Prieto y Martínez, 2006).

La semilla es la principal forma de reproducción de las especies forestales maderables (reproducción sexual). La

reproducción sexual favorece la diversidad genética, al existir recombinación de genes en el proceso de meiosis, esta diversidad ayuda a la preservación y evolución natural de las especies; además, permite el desarrollo de programas de mejoramiento genético (Prieto y López, 2006).

Los análisis de conos y semillas permiten evaluar las características físicas y biológicas de un lote para asignarle un valor (Bonner, 1993), herramienta útil para determinar la cantidad y calidad de semilla producida en una área determinada; esto contribuye a estimar la productividad de las áreas utilizadas como fuentes productoras de semilla, para los programas de producción de planta forestal. El factor principal que reduce la cantidad y calidad de la semilla producida, es la presencia de insectos. Álvarez y Márquez (1998), señalan que en Durango los principales insectos que causan daños a conillos, conos y semillas son: trips (género *Frankliniella*), palomillas tortrícidas (géneros *Eucosma* y *Cydia*) y pirálidas (géneros *Dioryctria* y *Apolychrosis*), así como escarabajos escolítidos (*Conophthorus)*, escarabajos picudos (*Conotrachelus)* y anóbidos (*Ernobius),* y chinches semilleras (*Tetyra* y *Leptoglossus*), entre otros.

Para determinar la calidad y cantidad de semilla disponible para los programas de reforestación, es importante conocer el potencial productivo y los niveles de eficiencia de producción de semilla en las áreas destinadas para este propósito; por lo tanto, es necesario evaluar en campo estas características. Se consideró estudiar a *Pinus engelmannii* Carr., debido a que es una especie de importancia comercial y es ampliamente usada en los programas de reforestación en el estado de Durango.

OBJETIVOS

Determinar potencial productivo, capacidad germinativa, daños por insectos y niveles de eficiencia de producción de semilla en tres rodales semilleros de *Pinus engelmannii* Carr.

METODOLOGÍA

Localización y características climáticas

El estudio se realizó en tres rodales semilleros de *Pinus engelmannii*, ubicados en los ejidos El Encinal y Las Cumbres, municipio de Durango y en el ejido La Florida, municipio de San Dimas, en la Sierra Madre Occidental del estado de Durango, México. Las coordenadas y características climatológicas principales de los tres rodales semilleros se muestran en la tabla 1.

Manejo de los rodales

Los tres rodales están bajo el sistema de manejo forestal conocido como Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI); por la naturaleza del sistema se busca conservar la estructura del bosque mediante la extracción de individuos que han alcanzado su madurez física. La edad promedio de los árboles de los rodales Las Cumbres, La Florida y El Encinal fue de 55,0 años, 64,9 años y 65,8 años, respectivamente, el turno para aprovechar dichas áreas es aproximadamente de 75 años, lo que significa que todavía tienen de 9 a 20 años de vida útil para producir semilla. Se consideran rodales semilleros porque los árboles tienen características superiores a los rodales existentes en las áreas aledañas, respecto a: vigor, altura, diámetro del fuste, rectitud del fuste y edad no madura (Osio, 2007).

Tabla 1. Ubicación y características climatológicas de los rodales evaluados.

Rodal	Localización geográfica	Temperatura media anual (ºC)	Precipitación media anual (mm)	Altitud (m)
El Encinal	23º 43´ 32´´ N 105º 2´ 58´´ W	11,5	950,0	2570
Las Cumbres	23º 53´ 01´´ N 105º 05´ 58´´W	11,5	850,0	2511
La Florida	24º 07´ 56´´ N 105º 42´ 33´´ W	11,1	839,5	2620

FUENTE: Comisión Nacional del Agua (2009).

Selección de árboles y características dasométricas

De cada rodal fueron seleccionados 10 árboles, caracterizados por ser sobresalientes en altura, con fustes rectos, copa chica, sanos, individuos no aislados y distribuidos uniformemente en cada área de estudio, con una separación mínima de 50 m entre árboles. De cada árbol seleccionado se midió: diámetro a la altura del pecho, altura, edad, tiempo de paso y diámetro de cobertura de copa (Tabla 2).

Colecta, transporte y secado de conos

De cada árbol seleccionado se colectaron 10 conos, los cuales se colocaron en bolsas de papel, identificadas con el nombre del sitio de colecta, el número de árbol y el cono colectado. De cada rodal semillero se colectaron 100 conos (10 por árbol). Para facilitar el transporte, las bolsas con los conos se pusieron en costales; posteriormente se expusieron al sol para facilitar su secado y evitar que los conos fueran infestados por hongos.

Disección de los conos, clasificación de las escamas y potencial productivo

Para separar las escamas, los conos secos se disectaron mediante la perforación de su eje central con un taladro eléctrico, lo que permitió su desprendimiento al deshacerse los puntos de unión. Una vez separadas las escamas, éstas se clasificaron y cuantificaron en tres tipos: escamas fértiles, escamas inferiores infértiles (base del cono) y escamas superiores infértiles (ápice del cono). De acuerdo con la marca que dejaron las semillas en la base de las escamas fértiles, éstas tenían: óvulos abortados en el primer año (marca de la semilla menor a 2 mm), óvulos abortados en el segundo año (marca de la semilla entre 2 mm y 4 mm) o semillas desarrolladas (marca de la semilla superior a 4 mm). El potencial productivo se determinó mediante el conteo del número de escamas fértiles encontradas y, considerando que cada escama tiene la capacidad para producir dos semillas, el número de escamas se multiplicó por dos.

Tabla 2. Características dasométricas y edad de los árboles de *Pinus engelmannii* Carr. seleccionados para la colecta de conos en los rodales semilleros evaluados.

Árbol	Rodal semillero														
	El Encinal					Las Cumbres					La Florida				
Núm.	DAP	A	E	TP	DC	DAP	A	E	TP	DC	DAP	A	E	TP	DC
1	34,4	15,5	65,0	13,0	5,3	42,0	16,0	67,0	7,0	6,0	36,5	17,8	55,0	15,0	5,0
2	35,5	16,0	67,0	15,0	4,8	34,5	18,0	48,0	10,0	6,5	26,0	18,6	60,0	15,0	4,2
3	33,7	18,0	62,0	16,0	6,2	30,7	17,0	64,0	10,0	6,5	28,5	18,4	77,0	16,0	5,8
4	39,6	20,0	71,0	11,0	5,8	30,0	15,0	60,0	14,0	6,9	28,0	18,8	53,0	18,0	5,9
5	35,3	18,5	63,0	13,0	4,7	37,0	17,0	64,0	10,0	6,8	28,7	20,5	69,0	16,0	4,9
6	38,9	17,0	71,0	12,0	5,8	35,0	14,0	44,0	13,0	5,5	32,5	21,0	70,0	18,0	5,6
7	39,1	16,0	70,0	12,0	6,0	29,5	9,0	40,0	10,0	6,9	28,0	15,0	74,0	18,0	4,9
8	31,6	19,0	58,0	15,0	4,9	31,5	16,0	52,0	10,0	4,6	35,5	22,3	71,0	16,0	5,5
9	30,9	17,0	57,0	12,0	5,2	38,2	13,0	59,0	9,0	6,5	26,8	19,3	51,0	16,0	4,0
10	39,7	16,5	74,0	11,0	5,6	41,6	16,0	52,0	11,0	6,4	27,4	20,0	69,0	16,0	5,7
Media	35,9	17,4	65,8	13,0	5,4	35,0	15,1	55,0	10,4	6,3	29,8	19,2	64,9	16,4	5,2

DAP= diámetro a la altura de pecho (cm), A= altura (m), E= edad (anillos de crecimiento), TP= tiempo de paso (años), DC= diámetro de cobertura de copa (m).

Semilla llena, vana, malformada y dañada por insectos

A través de una muestra de 400 semillas por sitio, separadas en cuatro repeticiones, sometidas a pruebas de rayos X, con base en Bramlett *et al.* (1977), se clasificó a la semilla en: llena, vana, malformada y dañada por insectos. Para identificar las muestras en la parte inferior se colocó una placa de aluminio enumerada. El tiempo que estuvo la semilla expuesta a los rayos X fue aproximadamente de dos minutos.

Porcentaje de germinación

Mediante la utilización de 400 semillas por sitio, seleccionadas al azar, separadas en cuatro repeticiones de 100 semillas, se determinó el porcentaje de germinación. El proceso para germinar la semilla consistió en desinfectarlas durante cinco minutos, en una solución compuesta por 90,0% de agua destilada y 10,0% de cloro comercial; al término de ese periodo se enjuagaron cuatro veces en agua destilada y, separadas por repetición, se colocaron en papel absorbente y estraza. Para evitar que se contaminaran con hongos (*Damping-off*), se regaron con el fungicida Tecto 60®, a razón de 1,5 g L^{-1} de agua; una vez humedecidas las muestras, éstas se colocaron en una cámara de ambiente controlado a una temperatura de 25 ºC a 28 ºC. A partir del inicio de la germinación, las muestras se monitorearon cada tercer día durante 28 días.

Variables evaluadas

Las variables registradas fueron: *a)* potencial productivo, *b)* semillas producidas, *c)* óvulos abortados durante el primero y segundo año de desarrollo, *d)* número de escamas infértiles inferiores y superiores, *e)* porcentaje de semillas llenas y vanas, *f)* semillas malformadas, *g)* semillas dañadas por insectos, *h)* porcentaje de germinación y *i)* eficiencia de producción de semillas. Los datos obtenidos se capturaron en Excel® y se analizaron estadísticamente a través del programa de computo SAS (SAS Institute Inc., 2004). Debido a que los datos no presentaron una distribución normal, para analizar el potencial productivo y semilla desarrollada se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. Los resultados de “análisis de rayos X” se transformaron para ajustarlos a una distribución normal, a través de la raíz cuadrada de las variables más uno; posteriormente, se analizaron bajo un diseño experimental completamente al azar y donde existieron diferencias significativas ($p<0,01$) se hicieron pruebas de comparación de medias de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potencial productivo y semillas desarrolladas

Se encontraron diferencias significativas ($p<0,01$) entre sitios en las variables potencial productivo y semillas desarrolladas (Tabla 3). En el rodal semillero El Encinal se registró el más alto potencial productivo de semilla (171,9 semillas por cono) y la más alta cantidad de semilla desarrollada (143,7 semillas por cono), lo que equivale a 83,6% del potencial productivo; en la misma tabla se presentan éstas y otras estadísticas comparativas para los tres rodales semilleros analizados.

De acuerdo con Salzer y Gugerli (2012), las diferencias en resultados de esas variables pueden ser atribuibles a

factores específicos de cada rodal respecto a la calidad del sitio y a características genéticas, dado que las condiciones climáticas: temperatura media anual (11,1 ºC - 11,5 ºC) y precipitación media anual (839,5 mm - 950,0 mm), así como el manejo silvícola han sido similares en dichos rodales. Además, la edad promedio de los árboles es adecuada para que éstos produzcan semilla en abundancia, al encontrarse en plena edad reproductiva, ya que es común que esta especie tenga un turno biológico superior a los 100 años. Tíscar (2002), clasificó la edad de los árboles de *Pinus nigra* subsp. *salzmannii*, en maduros hasta los 120 años y viejos de los 121 a 200 años de edad. Madrigal (1994) indica que en bosques con manejo forestal, la edad máxima a la que un árbol puede reproducirse es determinada por la duración del turno, ya que al prolongarse en exceso, los árboles pueden perder su capacidad para reproducirse.

Según Noland *et al.* (2006), la regeneración natural en rodales semilleros depende en gran parte de la capacidad de los árboles semilleros seleccionados para producir semilla en abundancia y viable. Solís *et al.* (2007), en un área semillera de *P. engelmannii* en el municipio de Durango, Dgo., encontraron un potencial productivo de 179 semillas por cono, valor que superó a los observados en el mismo sitio en esta evaluación, donde sólo 133 semillas lograron desarrollarse. En cambio, Owens y Fernando (2007), en un huerto semillero de *P. monticola*, registraron un potencial productivo de 200 semillas por cono, de las cuales el éxito reproductivo fue de 115 semillas (57,5%). Por su parte, Núñez (2002) determinó la eficiencia en la producción de semilla en tres rodales naturales de *Pinus cooperi* Blanco del estado de Durango, y encontró que el rodal con mayor semilla desarrollada tuvo 50,9%; en cambio, en el presente estudio los tres sitios superaron 70,2% de semilla desarrollada.

Óvulos abortados en el primer y segundo año

Se observaron diferencias significativas ($p<0,01$) entre sitios, para las variables óvulos abortados en los años uno y dos. En los tres sitios la mayor cantidad de óvulos abortados ocurrió en el año uno, con valores de 13,5 a 38,2 óvulos abortados (Tabla 3); las mayores pérdidas ocurrieron en la localidad La Florida. Por otro lado, en el año dos los valores fluctuaron de 6,4 a 9,9 semillas abortadas por cono; la mayor cantidad de óvulos abortados existió nuevamente en la misma localidad. En cambio, el menor aborto de óvulos en el primero y segundo año se registró en el rodal semillero Las Cumbres, con 13,5 y 6,4 óvulos abortados por cono en cada año, respectivamente. Owens *et al.* (2008), indican que las causas posibles de abortos pueden ser problemas de autopolinización, daño por plagas en las primeras etapas del proceso reproductivo o enfermedades durante el desarrollo. Por su parte, Gómez *et al.* (2010) indican que en un huerto semillero de *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. abortaron 63,7 óvulos por cono debido a problemas de endogamia.

Escamas infértiles superiores e inferiores

Las variables escamas infértiles superiores e inferiores no presentaron diferencias significativas entre sitios, con 7,9 a 9,2 escamas infértiles superiores y 70,3 a 76,0 escamas infértiles inferiores por cono (Tabla 3). Sivacioglu y Ayan (2008), encontraron, en un huerto semillero clonal de *P. sylvestris*, que el número de escamas infértiles por cono fue de 41,1.

Tabla 3. Resultados de la prueba de Kruskal Wallis para detectar diferencias entre los rodales semilleros de *Pinus engelmannii* Carr. en el estado de Durango.

	Estadístico		Rodal semillero		
Variable	X^2	*P*	El Encinal	Las Cumbres	La Florida
Potencial productivo	26,38	0,0001	171,9 ± 3,4	149,2 ± 3,8	161,7 ± 3,9
Semilla desarrollada	38,27	0,0001	143,7 ± 4,0	129,3 ± 3,1	113,6 ± 3,6
Óvulos abortados año uno	70,95	0,0001	20,6 ± 1,9	13,5 ± 1,1	38,2 ± 2,6
Óvulos abortados año dos	12,83	0,0016	7,5 ± 0,5	6,4 ± 0,7	9,9 ± 1,1
Escamas infértiles superiores	3,28	0,1933	8,0 ± 0,3	9,2 ± 1,3	7,9 ± 0,4
Escamas infértiles inferiores	3,40	0,1825	76,0 ± 7,8	70,3 ± 1,6	71,0 ± 1,4

Los valores ilustrados representan la media ± error estándar, n=100.

La presencia de escamas infértiles se debe a que éstas no pueden ser polinizadas durante la dispersión del polen (Bramlett *et al.*, 1977).

Semilla llena, vana, malformada y dañada por insectos

La semilla llena es aquella que tiene sus estructuras internas completas, lo que le permite reproducirse en condiciones apropiadas de humedad (60% - 80%) y temperatura (25 ºC - 30 ºC). Los resultados indican que existieron diferencias significativas (p<0,01) entre sitios en todas las variables (Tabla 4). El mayor porcentaje de semilla llena se registró en Las Cumbres (77,2%), con una diferencia mayor a 20% respecto a los otros sitios. Con relación a la semilla vana, el porcentaje fue alto en La Florida y El Encinal, con 38,5% y 42,8%, respectivamente; en cambio, en Las Cumbres ocurrió el menor porcentaje, con 19,4% (Tabla 5).

Según Owens y Fernando (2007), el desarrollo y la morfología de las semillas afectan la producción de semilla llena. Owens *et al.* (2008) encontraron, en rodales naturales de *Pinus albicaulis* Engelm., que 70% de las semillas estaban llenas, valor alto para rodales naturales de coníferas. Álvarez y Márquez (1994a) encontraron, en un área semillera de *P. cooperi*, que el porcentaje de semilla llena fue de 80%, mientras que 20% fue semilla vana debido al efecto de las chinches semilleras, *Leptoglossuss occidentalis* y *Tetyra bipunctata*.

El alto porcentaje de semilla vana pudo ser originado por una polinización deficiente o por daños provocados por *Leptoglossus occidentalis*. Strong *et al.* (2001), consideran que *L. occidentalis* es una plaga que afecta significativamente huertos semilleros de *Pinus contorta* var. *latifolia* Engelmann. La autofecundación propicia la formación de semillas vanas al incidir en la producción de genes letales (Velasco *et al.,* 2007), fenómeno que provoca la muerte del embrión y propicia que la semilla esté vacía (Zavala y Meléndez, 1996). En rodales naturales de *P. engelmannii*, el ataque de *L. occiden-*

Tabla 4. Resultados del ANOVA para detectar diferencias en la calidad de la semilla, mediante pruebas de rayos X, en rodales semilleros de *Pinus engelmannii* Carr. en el estado de Durango.

Variable (semilla)	Estadísticos		
	CME[1]	Valor F	Valor P<0,01
Llena	0,51	67,45	0,0001
Vana	1,17	49,90	0,0001
Malformada	0,15	10,41	0,0001
Dañada por insecto	0,41	18,41	0,0001

[1]CME= Cuadrado medio del error

Tabla 5. Resultados de la prueba de medias de Duncan para detectar diferencias en la calidad de la semilla, mediante análisis de rayos X entre los rodales semilleros de *Pinus engelmannii* Carr. en el estado de Durango.

Rodal	Porcentaje de semilla			
	Llena	Vana	Malformada	Dañada por insecto
Las Cumbres	77,2 a	19,4 b	0,7 b	2,7 b
La Florida	56,4 b	38,5 a	1,0 b	4,0 b
El Encinal	48,3 c	42,8 a	1,9 a	7,0 a

Letras diferentes para la misma columna significan diferencias significativas (p<0,01).

talis causó producción de semillas vanas durante la fase inicial de formación del embrión y del tejido gametofítico, daño que continuó conforme se desarrollaron las semillas hasta la etapa de maduración (Bustamante *et al.,* 2012).

El mayor daño por insectos ocurrió en El Encinal con 7,0%, mientras que en Las Cumbres y La Florida la afectación fue menor con 2,7% y 4,0%, respectivamente. Cibrián *et al.* (2008) reconocen a *Conophthorus* spp. como los insectos de mayor importancia económica en México, debido a que sus ataques en especies del género *Pinus* dañan más de 60% de la cosecha de semilla. Álvarez y Márquez (1998), señalaron que *Conophthorus apachecae* es importante en áreas semilleras de *P. engelmannii* del estado de Durango, debido a que provoca la destrucción parcial o total del cono al construir galerías en el eje central de éste; además, limita la liberación de las semillas. Mediante la técnica de análisis de conos y semillas, propuesta por Bramlett *et al.* (1977), es difícil observar la presencia de este insecto debido a que la barrenación del eje central del cono destruye a *Conophthorus* y a las galerías helicoidales, sitio donde oviposita este insecto (Álvarez y Márquez, 1998); por lo

tanto, en el presente estudio no se observaron evidencias del mismo.

Respecto a la semilla malformada, en El Encinal se presentó el mayor porcentaje con 1,9%, en Las Cumbres y La Florida ocurrió el menor daño con valores de 0,7% y 1,0% (Tabla 5). La semilla malformada indica posibles problemas de nutrición o colecta de conos antes de su madurez (Bramlett *et al.*, 1977).

Porcentaje de germinación

La semilla procedente de Las Cumbres y El Encinal tuvo más de 90% de germinación total; pero, el mejor comportamiento del proceso de germinación ocurrió en semillas procedentes del rodal Las Cumbres, donde la germinación comenzó ocho días después de la siembra y a los 18 días había germinado 88,9%; el mayor porcentaje de germinación diaria se obtuvo a los 12 días de la siembra con 29,5%. En el predio El Encinal el porcentaje de germinación total fue de 93,6%, a los 14 días de la siembra se registró el más alto porcentaje de germinación diaria con 26,5% y los más altos valores de germinación diaria ocurrieron entre los 12 y 18 días con 76,3% para esos días. En la localidad La Florida ocurrió la menor germinación total con 78,5%; además, la germinación fue más lenta y heterogénea. La mayor germinación diaria se presentó entre los 12 y 16 días después de la siembra con 54,6% de germinación durante ese periodo. Los resultados anteriores indican que la semilla con mayor vigor fue la recolectada en Las Cumbres (Tabla 6).

Tabla 6. Germinación diaria y acumulada en semilla de *P. engelmannii* Carr., colectada en tres rodales semilleros del estado de Durango.

	Las Cumbres		El Encinal		La Florida	
	Germinación					
Días después de la siembra	Diaria (%)	Acumulada (%)	Diaria (%)	Acumulada (%)	Diaria (%)	Acumulada (%)
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0
8	4,2	4,2	0,0	0,4	0,0	0,0
10	6,5	10,7	3,2	3,6	1,3	1,3
12	29,5	40,2	20,9	24,4	14,6	15,9
14	18,4	58,6	26,5	51,0	23,8	39,7
16	16,1	74,7	17,3	68,3	16,2	56,0
18	14,2	88,9	11,6	79,9	7,0	62,9
20	5,4	94,3	4,8	84,7	3,6	66,6
22	2,3	96,6	5,6	90,4	7,0	73,5
24	1,1	97,7	2,0	92,4	2,6	76,2
26	0,0	97,7	0,8	93,2	2,3	78,5
28	0,4	98,1	0,4	93,6	0,0	78,5

Ibarra (1994) evaluó el porcentaje de germinación de semilla recolectada en un área semillera *de Pinus cooperi* ubicada en la región de El Huehuento, San Dimas, Dgo., y encontró que éste fue de 46%. Álvarez y Márquez (1994b) realizaron una tabla de vida en un área semillera de *P. cooperi*, incluido un análisis de germinación y obtuvieron 97,8% de germinación. El alto porcentaje de germinación asegura un nivel óptimo de germinación de las semillas en vivero. Núñez (2002), registró valores de 88,2% a 94,0% de germinación de semillas provenientes de rodales de *P. cooperi*. Martínez (2002) obtuvo una germinación de 65,7% en semilla de rodales de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Prieto y Martínez (2006), en un análisis de conos y semillas de dos áreas semilleras de *P. cooperi*, encontraron que las semillas llenas tenían un poder germinativo superior a 95%.

Eficiencia de producción de semilla

La mayor Eficiencia de Producción de Semillas (EPS) se registró en el rodal semillero Las Cumbres con 66,9%. En El Encinal fue de 40,4% y en la Florida de 39,6% (Fig. 1). Según Bramlett *et al.* (1977), un rodal con un manejo apropiado para producir semilla debe tener porcentajes superiores a 55,0%, caso que sólo sucedió en Las Cumbres. En las localidades de El Encinal y La Florida, para identificar las causas que han limitado la producción de semilla, es necesario hacer un diagnóstico a detalle donde, entre otros aspectos, se deben evaluar posibles problemas de endogamia o de daños por insectos, dado que las condiciones ambientales y de manejo silvícola han sido similares. Asimismo, es conveniente favorecer el vigor de los árboles mediante la aplicación de fertilizante.

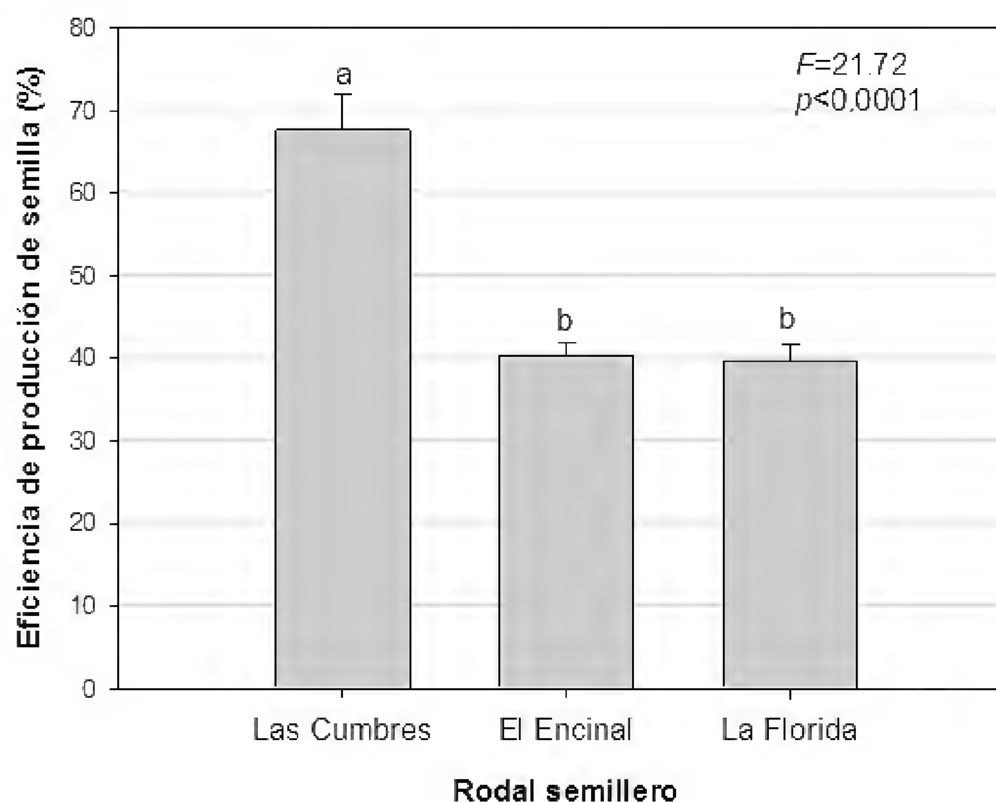


Figura 1. Eficiencia de producción de semilla de *P. engelmannii* Carr., en tres rodales semilleros del estado de Durango.

Narváez (2000) estimó, en un área semillera de *P. arizonica* Engelm., una EPS de 37,0%. Por su parte, Núñez (2002) analizó conos y semillas de *P. cooperi* en rodales naturales y determinó valores de 21,3% para esa variable. En cambio, Alba *et al.* (2003), en poblaciones de *P. hartwegii* obtuvieron porcentajes de 68,0% a 75,0%. Por su parte, Alba *et al.* (2006) encontraron que en *P. greggii* varió entre 70,9% y 87,0%. Sivacioglu y Ayan (2008) evaluaron un huerto semillero clonal de *P. sylvestris* y registraron una EPS de 17,9%. Como se aprecia en los resultados anteriores, los niveles de EPS fueron muy variables y en mucho dependen de las características específicas de cada especie y sitio. Asimismo, dichos autores indican que las causas que originan la mortalidad de semilla durante su ciclo reproductivo se deben principalmente a daños por insectos, autopolinización y a factores físicos de los árboles (vigor y edad).

CONCLUSIONES

El rodal semillero Las Cumbres fue el único que tuvo una eficiencia de producción de semillas adecuada. Además, en ese sitio se produjo la semilla de mejor calidad, al tener el más alto porcentaje y velocidad de germinación.

El rodal semillero El Encinal registró el más alto potencial de producción de semilla y la mayor cantidad de semilla desarrollada; sin embargo, en ese sitio ocurrió el daño mayor por insectos y la eficiencia de producción de semillas fue deficiente.

El rodal La Florida tuvo resultados intermedios en las variables evaluadas; pero, su nivel de eficiencia de producción de semillas también fue deficiente.

REFERENCIAS

Alba L., J., A. Aparicio R. y J. Márquez R. 2003. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus hartwegii* Lindl. de dos poblaciones de México. Foresta Veracruzana 5(1):23-29.

Alba L., J., E.O. Ramírez G. y G. Rojas P. 2006. Variación de semillas de *Pinus greggii* Engelm. en el municipio de Naolinco. Foresta Veracruzana 8(2):7-12.

Álvarez Z., R. y M.A. Márquez L. 1994a. Factores de mortalidad de conos de *Pinus cooperi* en San Dimas, Dgo. *In:* Memorias del XXIX Congreso Nacional de Entomología. Sociedad Mexicana de Entomología. p:245-246.

Álvarez Z., R. y M.A. Márquez L. 1994b. Aplicación de tabla de vida para conos de *Pinus cooperi* var. *ornelasii.* Informe Técnico Final, Fase I. CIIDIR-IPN. Unidad Durango, Dgo. p:36-37.

Álvarez Z., R. y M.A. Márquez L. 1998. Plagas y enfermedades de las pináceas de Durango. *In:* García A., A. y S. González E., eds. Pináceas de Durango. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver. p:133-137.

Bonner F., T. 1993. Análisis de semillas forestales. Traducido del inglés por Dante Arturo Rodríguez Trejo. Serie de Apoyo Académico núm. 47. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 5 p.

Bramlett, D.L., E.W. Belcher, G.L. DeBarr, G.D. Helteer, R.P. Karrafalt, C.W. Lantz, T. Miller, K.O. Ware y H.O. Yates. 1977. Manual de análisis de conos. Traducido del inglés por

Jaime E. Flores L. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. México. p:3-21.

Bustamante-García, V., J.A. Prieto-Ruíz, R. Álvarez-Zagoya, A. Carrillo-Parra, J.J. Corral-Rivas y E. Merlín-Bermudes. 2012. Factors affecting seed yield of *Pinus engelmannii* Carr. in three seed stands in Durango state, Mexico. Southwestern Entomologist 37(3):351-359.

Cibrián T., D.S. García D. y D.J. Macías B. 2008. Manual de identificación y manejo de plagas y enfermedades en viveros forestales. Zapopan, Jalisco, México. p: 143.

Colegio de Postgraduados. 2008. Reforestación. Evaluación Externa. Ejercicio Fiscal 2007. Conafor-Semarnat. Consultado en: http://148.223.105.188:2222/gif.snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=20. (Septiembre 2011).

Cuevas F., L., D. Tejeda S., J.S. García C., J.A. Guerrero. H., J.C. González O., H. Hernández M., M.L. Lira Q., J.L. Nieves F., C.M. Vázquez M. y R. Cardoza V. 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de mejores prácticas. Conafor. Tercera edición. Zapopan, Jalisco, Méx. p:298.

Comisión Nacional del Agua. 2009. Datos climáticos de estaciones meteorológicas de Durango. El Salto, Miravalles y Otinapa. Durango, Dgo.

FAO. 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales. Estudio 20/2. FAO/MONTES, DANIDA. Compilado por Willan R. L., Roma, Italia. p:23-48.

Gómez J., D.M., C. Ramírez H., J. Jasso M. y J. López U. 2010. Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. Fitotecnia Mexicana 33(4):297-304.

Ibarra H., J.P. 1994. Estudio de conos y semillas de un área semillera de *Pinus cooperi* var. *ornelasii*, en la UCODEFO 5 “El Huehuento” San Dimas, Durango. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo. 49 p.

Madrid A., R.E. 2009. Evaluación de diez procedencias de *Pinus greggii* Engelm. para cultivo de árboles de navidad en el Valle del Guadiana Durango, Dgo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo. 49 p.

Madrigal, A. 1994. Ordenación de Montes Arbolados. MAPA-ICONA: Colección técnica. Madrid. 375 p.

Martínez D., C.N. 2002. Producción, viabilidad y germinación de semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en tres localidades forestales de Iturbide, Nuevo León. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. p:22-26.

Narváez F., R. 2000. Estimación de la cosecha de semilla de *Pinus arizonica* Engelm, con base a la producción de conos, en la región de Madera, Chihuahua. Folleto técnico núm. 12. Campo Experimental Madera. INIFAP. Madera, Chihuahua, p:3-5.

Noland, L.T., C.W. Parker y E.A. Morneault. 2006. Natural variation in seed characteristics of eastern white pine (*Pinus strobus* L.). New Forests 32:87-103.

Núñez G., V.J. 2002. Análisis de conos y semillas de *Pinus cooperi Blanco* en tres rodales naturales del estado de Durango. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo. p:42, 48,55.

Osio M., M.A. 2007. Modificación al programa de manejo forestal. Ejido La Florida. Municipio San Dimas, Durango. 36 p.

Owens, J.N. y D.D. Fernando. 2007. Pollination and seed production in western white pine. Canadian Journal of Forest Research 37(2):260-275.

Owens, N.J., T. Kittirat y F.M. Mahalovich. 2008. Whitebark pine (*Pinus albicaulis* Engelm.) seed production in natural stands. Forest Ecology and Management 255:803-809.

Prieto R., J.A. y J. López U. 2006. Colecta de semillas forestales en el género *Pinus*. Folleto técnico núm. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana INIFAP. Durango, Dgo. p:13-20.

Prieto R., J.A. y J. Martínez A. 2006. Análisis de conos y semillas en dos áreas semilleras de *Pinus cooperi* Blanco en San Dimas, Durango. *In*: El Sitio Permanente de Experimentación Forestal (SPEF) "Cielito Azul" a 40 años de su establecimiento. Publicación especial núm. 23. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango, Dgo. p:15-30.

Rodríguez T., D.A. 2007. Los árboles de calidad para la reforestación. Extensión al campo. Revista científica núm. 4. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 12 p.

Salzer, K. y F. Gugerli. 2012. Reduced fitness at early life stages in peripheral versus core populations of Swiss stone pine (*Pinus cembra*) is not reflected by levels of inbreeding in seed families. Alpine Botany 122(2):75-85.

SAS Institute Inc. 2004. SAS/ETS® 9.1 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Sivacioglu, A. y S. Ayan. 2008. Evaluation of seed production of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) clonal seed orchard with cone analysis method. African Journal of Biotechnology 7(24):4393-4399.

Solís G., S., G. Montes R. y E. Bravo A. 2007. Análisis de la producción de semilla en las áreas semilleras de la región de El Salto, Durango. *In:* VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Morelia, Michoacán. 210 p.

Strong, W.B., S.L. Bates y M.U. Stoehr. 2001. Feeding by *Leptoglossus occidentalis* (Hemiptera: Coreidae) reduces seed set in *lodgepole pine* (Pinaceae). The Canadian Entomologist 133:(6)857-865.

Tíscar O., P.A. 2002. Capacidad reproductiva de *Pinus nigra* subsp. *salzamannii* en relación con la edad de la planta madre. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales 2:357-372.

Universidad Autónoma Chapingo-Gerencia de Servicios Profesionales 2007. Evaluación externa de los apoyos de reforestación, obras y prácticas de conservación de suelos y sanidad forestal-Categoría Reforestación. Ejercicio Fiscal 2006. Conafor-Semarnat. Consultado en: http://148.223.105.188:2222/gif.snif_portal/index.php?option=com_content& task=view&id=20&Itemid=20. (Septiembre 2012).

Universidad Autónoma Chapingo. 2010. Informe de evaluación externa de los apoyos de reforestación. Ejercicio Fiscal 2009. Conafor-Semarnat. Consultado en: http://148.223.105.188:2222/gif.snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=20. (Septiembre 2012).

Universidad Autónoma de Nuevo León. 2009. Reforestación. Evaluación externa fiscal 2008. Informe Nacional. Conafor-Semarnat. Consultado en: http://148.223.105.188:2222/gif.snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=20. (Septiembre 2012).

Velasco G., M.V., J. López U., G. Ángeles P.; J. Vargas H. y V. Guerra D. 2007. Dispersión de semillas de *Pseudotsuga menziesii* en poblaciones del centro de México. Agrociencia 41:121-131.

Zavala C., F. y J.T. Méndez M. 1996. Factores que afectan la producción de semillas en *Pseudotsuga macrolepis* Flous, en el estado de Hidalgo, México. Acta Bot. Mex. 36:1-13.

Manuscrito recibido el 8 de mayo de 2012.
Aceptado el 27 de septiembre de 2012.

Este documento se debe citar como:
Bustamante-García, V., J.A. Prieto-Ruíz, E. Merlín-Bermudes, R. Álvarez-Zagoya, A. Carrillo-Parra y J.C. Hernández-Díaz. 2012. Potencial y eficiencia de producción de semilla de *Pinus engelmannii* Carr., en tres rodales semilleros del estado de Durango, México. *Madera y Bosques* 18(3):7-21.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Evaluación de las características del fruto de huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) para su posible uso en curtiduría o alimentación animal

Evaluation of characteristics of huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) fruit for potential use in leather tanning or animal feeding

Lucía Barrientos-Ramírez[1], J. Jesús Vargas-Radillo[1], Antonio Rodríguez-Rivas[1], Héctor Guillermo Ochoa-Ruíz[1], Fernando Navarro-Arzate[1] y José Zorrilla[2]

RESUMEN

El huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) es una especie silvestre distribuida en el estado de Jalisco y en México, que podría ser utilizada como forraje. Se realizó un estudio para determinar análisis químico proximal (AQP), perfil de aminoácidos y degradabilidad de la materia *in situ,* en borregos pelibuey fistulados, utilizando el fruto (cáscara y semilla) del huizache, sin tratamiento alguno y con extracción previa de taninos. Los taninos fueron evaluados por los métodos ALCA y número de Stiasny. La semilla cruda presento 23,0% en proteína, superior al encontrado en cáscara, de 14,9%. Los aminoácidos presentes en mayor proporción fueron histidina, valina, treonina, leucina e isoleucina, mientras que lisina y metionina+cisteína fueron los de menor presencia. La cáscara presentó 9,7% taninos del tipo condensado y 11,6% del tipo curtiente, contra 1,8% y 2,2% de la semilla. La variable presencia/ausencia de taninos fue la de mayor efecto en los parámetros, por lo que la mayoría de los indicadores en AQP disminuyeron en muestras sin taninos y, por ejemplo, semilla con taninos tuvo 61,7% en fibra detergente neutra (FDN) y sin taninos 58,1%. Asimismo, la extracción de taninos mejoró la asimilación del material en el rumen de los borregos.

PALABRAS CLAVE:
Borregos pelibuey fistulados, composición química proximal, degradabilidad *in situ*, perfil de aminoácidos, taninos.

ABSTRACT

Huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) is a wild species commonly distributed in Jalisco and other states of Mexico, which may be used as forage. A study was performed on the fruit of huizache (husk and seed) in both, untreated samples and samples with pre-extraction of tannin, for the determination of chemical proximal analysis (QPA), aminoacid profile, and *in situ* degradability, in fistulated pelibuey sheep specimens. Tannins were evaluated using the ALCA method and the Stiasny number technique. QPA analysis showed high protein content in raw seeds of 23,0%, higher than husk content

1 Departamento de Madera, Celulosa y Papel, CUCEI. Universidad de Guadalajara. Km. 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales, Zapopan, Jalisco, México. C.P. 45100. C.e.: lbarrien@dmcyp.cucei.udg.mx
2 Departamento de Producción Animal, CUCBA, Universidad de Guadalajara.

which was 14,9%. Samples showed high concentrations of histidine, valine, threonine, leucine and isoleucine, but low concentrations of lysine and methionine+cysteine. The tannins content was 9,7% of condensed type and 11,6% of tannin for tanning in husk, versus 1,8% and 2,2% in seed, respectively. The presence/absence of tannin had the greatest effect on the parameters studied. The most of the indicators in PQA decreased in samples without tannins. Seed with tannins showed 61,7% of neutral detergent fiber (NDF) and seed without tannin had 58,1%, for example. Tannins´ extraction improved digestibility into the sheep´s rumen.

KEY WORDS:
Pelibuey fistulated sheep, chemical proximal analysis, *in situ* degradability, aminoacids profile, tannins.

INTRODUCCIÓN

Las leguminosas son plantas que tienen un papel importante en la alimentación debido a su alto contenido proteico, el cual se fundamenta en la composición de sus aminoácidos constitutivos (Alcántara *et al.*, 1986; Granito *et al.*, 2003). Estos recursos han resuelto las restricciones de alimento en épocas críticas de sequía (Clarke *et al.,* 1989; Hermosillo *et al.*, 2008). A este respecto, las leguminosas se han destacado como un sustituto eficaz a la proteína animal (Famurewa y Raji, 2005). Entre estas especies se encuentra el huizache *(Acacia farnesiana* (L.) Willd.). En América, esta especie se encuentra distribuida desde el sur de los Estados Unidos hasta Argentina (Gómez *et al.*, 1970; Rojas-Rodríguez y Torres-Córdoba, 2012). En México se distribuye en la vertiente del pacífico, desde el sur de Sonora hasta Chiapas, y de forma discontinua en la vertiente atlántica, principalmente en el bosque tropical caducifolio, en climas cálidos y semicálidos (Rzedowski, 1988). El follaje y las vainas podrían aprovecharse como alimento para ganado y cabras de las regiones áridas de México, siendo una alternativa poco estudiada en la alimentación de rumiantes.

En particular, las vainas de huizache se caracterizan por su valor nutricional y podrían ser un material idóneo para ser utilizado como fuente de nutrientes de bajo costo para pequeños rumiantes (Sotelo, 1981; Velázquez *et al.*, 2005). Esto es importante debido a la escasa disponibilidad de nutrientes dentro de los sistemas de producción rural, particularmente en el periodo de estiaje (Velázquez *et al.*, 2011).

Sin embargo, se sabe que esta leguminosa arbustiva contiene taninos, los cuales pueden ser condensados o hidrolizables. Estos compuestos son considerados como agentes antinutricionales (Mueller-Harvey, 2006), que de forma mayoritaria causan efectos desfavorables en el proceso digestivo, aunque en algunos casos este efecto es positivo. Los taninos pueden disminuir la capacidad de degradación de la fibra y la utilización de la proteína en el rumen. Este efecto antinutricional puede provocar una baja aceptabilidad del alimento, pérdida de peso, poca retención de nitrógeno, disminución de la energía metabolizable y de la degradabilidad de la materia seca en el ganado (Barahona *et al.*, 1997; Barry *et al.*, 1999). De igual forma, pueden inactivar las enzimas digestivas de los herbívoros y crear complejos agregados de taninos y proteínas de plantas, los cuales son difíciles de digerir. En particular, los del tipo hidrolizables son potencialmente tóxicos, debido a las sustancias que originan cuando se degradan en el rumen, ya que pueden promover e inhibir la actividad enzimática (Bhat *et al.*,1998). Por otra parte, se ha publicado que los del tipo condensado son considerados no tóxicos para este tipo de animales, ya que mejoran el desempeño productivo en animales afectados por la parasitosis gastrointestinal (Romero *et al.*, 2000), mientras que a bajas concentraciones

pueden incrementar el nivel de aminoácidos azufrados que entran al torrente sanguíneo (Cecconello *et al.*, 2003). Sin embargo, pueden producir lesiones en la mucosa intestinal, lo que ocasiona una disminución en la absorción de nutrientes (Reed, 1995; Frutos *et al.*, 2004).

No obstante, la presencia de taninos en la ración alimenticia previene el timpanismo, debido a la disminución en la concentración de proteínas (mencionada con anterioridad) en el rumen (Pereira Filho *et al.*, 2005). Niveles altos de taninos mezclados con especies ricas en nitrógeno soluble mejoran la degradación proteica y la absorción del nitrógeno diluyendo el efecto de los compuestos tóxicos. En cualquier caso, se ha encontrado que el consumo de taninos mayor a 40g/kg resulta nocivo para rumiantes, ya que la ingesta a este nivel provoca la supresión de la membrana de protección de la proteína dietaría en el rumen (Bhat *et al.*, 1998).

Independientemente del efecto del contenido de taninos en el forraje, existen otras alternativas para el aprovechamiento de los mismos, tales como su uso en las industrias farmacéutica, formulación de adhesivos, y de forma tradicional en la curtiduría (Sánchez, 1980; Garro *et al.*,1997), además de usos biomédicos, elaboración de productos químicos, fabricación de tintas (Pedraza-Bucio y Rutiaga-Quiñones, 2011), adhesivo natural y formación de paneles de madera (Cardoso *et al.*, 2011). En México la industria de la curtiduría se ha desarrollado continuamente hasta ubicarlo entre los diez mayores países productores de pieles, con una aportación de 4% en la producción mundial dentro de este rubro. La mayor parte de las tenerías se encuentran en la Ciudad de México, Nuevo León, Jalisco y, sobre todo, Guanajuato (Semarnat-INE, 2007). Para una extracción rentable de este tipo de compuestos, el contenido tánico en la especie vegetal debería ser alrededor de 6% o mayor (Ochoa,1984); incluso, otros autores consideran que dicho contenido debería ser mayor o igual a 10% (Happich *et al.*, 1954; Pizzani *et al.*, 2006). Existen varios métodos para la evaluación taninos, que pueden ser divididos en colorimétricos, espectrofotométricos, espectroscópicos, gravimétricos, precipitación proteica y mixtos. En relación con los métodos colorimétricos, que utilizan espectrometría UV-Visible, destacan el método de Folin-Denis (Waterman y Mole, 1994; Vieira *et al.*, 2011), en el cual los resultados se expresan como ácido tánico; o el método MV-HCl establecido por Burns (1971) específico para taninos condesados, que utiliza metanol, vainillina y HCl, expresando los resultados en equivalentes de catequina. Por otra parte, dentro de los métodos gravimétricos, se puede mencionar el método del número de Stiasny o Índice de Stiasny-SI (Gnamm, 1949; Paes *et al.*, 2010) y el método ALCA de la American Leather Chemist's Association (ALCA, 1970; Honorato y Hernández, 1998). Stiasny es un método relativamente rápido y sencillo que evalúa taninos condensados, mientras que el método ALCA es un método clásico usado en la industria del cuero que evalúa taninos curtientes (condensados e hidrolizables) por medio de polvos de piel cromados

El huizache contiene aminoácidos y proteínas en semilla y cáscara, así como taninos tanto en hojas (Ephraim *et al.*, 2005) como en corteza y fruto, por lo que podría ser una opción en el mercado forrajero, usos alternativos de taninos y sector de la curtiduría.

OBJETIVOS

Evaluar la viabilidad de uso de semilla y cáscara de la vaina de huizache libre de

taninos, como fuente alimentaria, por medio de la determinación de su composición química, perfil de aminoácidos y degradabilidad en borregos pelibuey fistulados. Cuantificar los taninos extraídos como un posible subproducto útil para la industria de la curtiduría.

METODOLOGÍA

Se colectaron nueve especímenes de *Acacia farnesiana* en el municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, México. La región se localiza en la costa sur del estado, a 192 km al suroeste de Guadalajara, sobre la sierra de Amula, y a una altitud de 925 msnm. En esta región el clima es semiseco y semicálido, sin cambio térmico invernal bien definido. Los especímenes colectados fueron clasificados por personal del herbario del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara, IBUG (número de registro del ejemplar 164764), donde se depositaron. Se muestreó el fruto de los especímenes colectados, se separó manualmente la semilla y la cáscara, y se mezclaron por separado para tener una muestra representativa de cada una.

Las semillas y cáscara de huizache se deshidrataron a 60 °C durante 72 h en estufa de aire de tiro forzado. Las muestras se pulverizaron en un molino de martillo de aspas Retsch-GmbH con criba con perforaciones de 0,5 mm.

Se evaluó el contenido de proteína cruda, grasa, cenizas y elementos libres de nitrógeno (ELN) aplicando la metodología de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990), en muestras con taninos y sin taninos, así como de fibra ácido detergente (FDA) y fibra detergente neutra (FDN), utilizando las técnicas publicadas por Van Soest (1963). El contenido de lignina se realizó por el método publicado por Tejada (1985).

El análisis de aminoácidos se realizó mediante la técnica empleada por Urribarri *et al.* (2004), por medio de Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC), utilizando un equipo marca Shimadzu con detector UV a 254 nm y una columna C_{18} fase reversa Pico Tag™ Waters (300 mm x 3,9 mm). Para este análisis, las muestras se desgrasaron y posteriormente se hidrolizaron. Para este propósito, 50 mg de harina de semilla de huizache se trataron con 20 mL de una solución 6N de HCl en tubos de cierre hermético y medio inerte (desplazamiento del aire con nitrógeno). Los tubos se colocaron en una estufa a 45 ºC por 4 h y se neutralizaron con una solución 6N de NaOH. La suspensión neutralizada se filtró a través de papel filtro whatman número 1. El material se aforó a 100 mL con buffer de citrato de sodio, y se filtró nuevamente utilizando membranas millipore de nylon con porosidad de 0,2 μm. Para la detección en HPLC se aplicó a la muestra una solución fluorescente de o-ftalaldehído (OPA). El perfil de aminoácidos, además de los aminoácidos limitantes, se determinó utilizando como referencia los patrones establecidos por la FAO/WHO (1991).

El estudio de digestibilidad o degradabilidad *in situ* (desaparición de la materia seca) antes y después de la extracción de taninos, se realizó en dos borregos machos de raza pelibuey. El promedio de edad y peso de éstos animales fue de 1 año y 36 kg. A cada especimen se le colocó una fístula a nivel ruminal. Los borregos fueron sometidos a un periodo de adaptación de 15 días, y se aplicó una dieta consistente en una ración de 20% de harina de huizache, adicionada con sorgo, soya y rastrojo de maíz. Se incubaron en el rumen de los borregos 5 g de harina de huizache con y sin taninos, por 72 h. Cada incubación se realizó por triplicado, utilizando bolsas de nylon estandarizadas (1500 perfora-

ciones/cm2). Las bolsas se retiraron, lavaron y deshidrataron. Se analizó el contenido de proteína cruda y materia orgánica de acuerdo con la técnica publicada por Tejada (1985).

Para la evaluación de taninos se aplicó el índice de Stiasny y el método de polvos de piel. El número de Stiasny mide la reactividad de los extraíbles polifenólicos (taninos condensados) en presencia de formaldehido: 10 g de muestra (semilla o cáscara) se mezclaron con 150 mL de agua destilada y se agitaron por 24 h, a temperatura ambiente, y se midió el pH final del extracto tánico. A una muestra de 50 mL del extracto se agregaron 5 mL de HCl concentrado y 10 mL de solución de formaldehído al 40%. La mezcla se mantuvo en ebullición bajo reflujo por 30 minutos obteniendo un precipitado tánico, el cual se separó de la fase acuosa mediante filtración con vacío utilizando un filtro gooch de mediana porosidad previamente secado y tarado. El precipitado obtenido se lavó con agua destilada y se secó en estufa por dos horas a 120 ºC. El material resultante se enfrió en un desecador y se peso. Se calculó como la cantidad de precipitado tanino-formaldehído seco formado (M_2) respecto al peso de la sustancia seca presente en la solución (en este caso de 50 mL) de la muestra tratada (M_1), expresado como porcentaje,

$$NS = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100 \qquad (1)$$

La cantidad de taninos presente en la muestra se obtuvo al multiplicar NS por los sólidos solubles totales (Paes *et al.*, 2010, Ec. 2),

$$T = \frac{SST \cdot NS}{100} \qquad (2)$$

El segundo método, ALCA, consistió en tomar 75 mL del extracto tánico en un matraz Erlenmeyer de 300 mL. A esta suspensión se le añadieron 6,5 g de polvo de piel cromado (Merck), utilizados en la determinación de curtientes, y se agitó de forma enérgica durante 10 minutos. El material se filtró y se agregó caolín. Se filtró una vez más hasta que la solución quedó clara. El filtrado (material no curtiente) se secó en una estufa Felisa a 100 ºC y se determinó el peso del material residual. Éste se relacionó con el peso inicial extraído base seca. El material residual se denomina "sustancia no tánica", correspondiente al material no curtiente. El contenido de taninos (material absorbible por el polvo de cuero) se determinó por diferencia de los sólidos solubles totales y la sustancia no tánica. Los sólidos solubles totales (SST), se cuantificaron utilizando 100 mL del extracto tánico filtrado, los cuales se llevaron a sequedad total en un horno a 100 ºC para pesar el residuo seco, y se relacionó este valor con el peso del volumen utilizado (Ec. 3),

$$SST = \frac{M_i - M_f}{M_f} \cdot 100 \qquad (3)$$

donde

M_i: masa seca de la muestra, g

M_f: masa seca del extracto, g

Diseño experimental y análisis estadístico

Para evaluar la calidad forrajera se aplicó un diseño estadístico comparativo, cuyas variables experimentales fueron la presencia o ausencia de taninos tanto en semilla como en cáscara, mientras que las variables de respuesta fueron los parámetros de composición química proximal, aminoácidos y degradabilidad de la materia. El contenido de taninos se hizo en semilla y cáscara, también de

forma comparativa. Las pruebas se hicieron por triplicado (excepto los aminoácidos, cuyas determinaciones fueron unitarias). La prueba estadística fue hecha por el método ANOVA de contraste *post-hoc*, mientras que para la comparación de medias entre tratamientos se eligió la prueba de Tukey (1949). Se utilizó el software Statgraphics Centurion XV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química proximal en semilla y cáscara de huizache se presenta en la tabla 1. ANOVA indica que la presencia o ausencia de taninos (p=0,0869) estadísticamente es más significativo que la parte (semilla o cáscara) analizada (p= 0,3783). El contenido de proteína cruda en la semilla fue de 23,0% en el material con taninos, disminuyendo a 17,4% en la muestra sin taninos. En el caso de la cáscara, se observaron valores de 14,9% y 10,1%, respectivamente. Estos valores se consideran altos en relación con los contenidos registrados en algunas otras leguminosas, tales como *Acacia acatlensis* con 13,22% y *Acacia macrocantha* con 13,75% de proteína cruda en base seca (Román *et al.*, 2008). Por otra parte, el análisis de FDN mostró que la semilla con taninos tuvo un contenido ligeramente mayor, con 61,7%, que la semilla sin taninos, la cual presentó, 58,1%. En cáscara, el contenido de FDN pasó de 59,3% a 33,1% después de la extracción de taninos, lo que significa una reducción de 26,2%. Respecto a FDA, cáscara con taninos con 66,0%, arrojó 3,8% más que la FDA de las semillas con taninos (62,2%). Estos valores son consistentes con concentraciones de FDA encontradas en especies similares tales como *Acacia glomerosa,* con 66,41%

Tabla 1. Composición químico proximal en semilla y cáscara de huizache (g/100 g base seca*).

Parámetro (%)	Muestra			
	Semilla		Cáscara	
	Con taninos	Sin taninos	Con taninos	Sin taninos
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
Materia seca	88,9 ± 0,30d	92,3 ± 0,100a	90,6 ± 0,11c	91,2 ± 0,11b
Proteína cruda	23,0 ± 0,10a	17,4 ± 0,17b	14,9 ± 0,10c	10,1 ± 0,11d
Extracto etéreo	2,5 ± 0,06a	2,4 ± 0,35a	1,4 ± 0,06b	1,2 ± 0,15b
E.L.N.	54,3 ± 0,17c	54,5 ± 0,38c	64,2 ± 0,25b	66,1 ± 0,11a
F.D.N.	61,7 ± 0,26a	58,1 ± 0,23c	59,3 ± 0,06b	33,1 ± 0,23d
F.D.A.	62,2 ± 0,30b	58,5 ± 0,42c	66,0 ± 0,06a	53,0 ± 0,29d
Lignina	14,1 ± 0,11a	11,0 ± 0,15c	13,0 ± 0,11b	8,8 ± 0,11d
Cenizas	1,5 ± 0,06a	1,8 ± 0,15a	1,1 ± 0,06b	1,0 ± 0,17b

Notas:
Todos los parámetros presentados fueron evaluados por triplicado, $\bar{x}$ = media, s = desviación estándar
a, b, c Medias con diferente literal en la misma fila difieren significativamente (p<0,05)
E. L. N. = elementos libres de nitrógeno
F. D. N. = fibra detergente neutra
F. D. A. = fibra detergente ácida
*g.b.s. = gramos base seca

(Pizzani *et al.,* 2006), así como para contenidos de FDN de 64,90% para *Acacia acatlensis* y *Acacia macracantha* (Román *et al.*, 2008).

El perfil de aminoácidos se muestra en la tabla 2. La comparación de columnas mostró que no existe diferencia estadística significativa entre los aminoácidos de semilla y cáscara (p = 0,9226). Los aminoácidos Histidina (His), valina (Val), treonina (Treo) y leucina (Leu) fueron superiores al requerimiento esencial de aminoácidos recomendados por la FAO. Lo anterior se reflejó como un valor alto de calificación química. Por otra parte, también se observaron valores inferiores a estos estándares, de lisina (Lis) y metionina+cisteina (Met+Cis), por lo que estos fueron los aminoácidos limitantes en semilla y cáscara. La degradabilidad y la biodisponibilidad de los aminoácidos proteicos son factores importantes que caracterizan la calidad de ésta (Hsu *et al.*, 1977; Suman *et al.*, 1992). En su papel de sustancias esenciales de la vida, los aminoácidos son nutrientes críticos en cualquier formulación dietética animal. De aquí la importancia de localidad y cantidad de los aminoácidos presentes en las materias primas utili-

Tabla 2. Contenido (g/16g de N) de aminoácidos en semilla y cáscara de huizache.

Aminoácido	Muestra		Requerimiento esencial de aminoácidos (2-5 años)	Calificación química (C. Q.)	
	Semilla	Cáscara		Semilla	Cáscara
ASP	10,7	12,9	---	---	---
GLU	12,2	11,6	---	---	---
SER	9,8	9,4	---	---	---
GLI	11,3	7,3	---	---	---
HIS	2,6	2,0	1,9	136,8	105,3
ARG	6,3	3,4	---	---	---
TRE	4,6	4,7	3,4	135,0	138,2
ALA	8,0	9,3	---	---	---
PRO	7,2	9,0	---	---	---
TIR	3,2	4,0	---	---	---
VAL	5,9	8,2	3,5	168,6	234,3
MET+CIS	0,8	N.D.	3,4	23,5	N.D.
ILE	3,9	4,5	---	---	---
LEU	7,8	7,7	6,6	118,2	116,7
ISO-LEU	3,6	4,1	2,8	128,6	146,4
FEN+TIR	5,7	7,4	6,3	90,5	117,5
LIS	1,9	2,0	5,0	37,6	39,6

Notas:
N. D. = no detectado

$$\text{Calificación química} = \frac{g \cdot de \cdot aminoácido \;\; en \; muestra}{g \; de \; aminoácido \;\; en \; patrón \; \frac{FAO}{WHO}} \cdot 100$$

zadas en la elaboración de alimentos balanceados para animales.

En relación con la degradabilidad de la materia (Tabla 3), el resultado experimental fue satisfactorio, de acuerdo con los criterios sobre el parámetro de degradabilidad (DMS ≥ 50%), establecido por Pizzani *et al.* (2006). Se obtuvieron valores de DMS superiores a 60%, excepto en la cáscara con taninos que arrojó un valor de 59,2%. Asimismo, el análisis de varianza expresó diferencia significativa entre las variables (p=0,0279), relativo a la presencia o ausencia de taninos, pero también relativo a la muestra probada, semilla o cáscara. En la tabla se observa que la degradabilidad *in situ* se incrementó en el material sin taninos, tanto en semilla como en cáscara; la semilla registró un incremento en todos los parámetros estudiados, mientras que la cáscara presentó un incremento en DMS, DMO, DFDN, y DFDA, así como también una ligera disminución en DPC. Es de destacar el significativo aumento de DFDN tanto en semilla como en cáscara, y que la cáscara sin taninos presentó el mayor índice (93,5%). Este comportamiento es similar a los resultados obtenidos por Valerio (1994), quien encontró que al disminuir la cantidad de taninos ensilados de muestras de semillas, se incrementó la digestibilidad en rumiantes. El comportamiento del material de huizache analizado, sugiere un elevado potencial de utilización como alimento. Algunos autores (Cecconello *et al.,* 2003; Velázquez *et al.*, 2005) mencionan que las vainas secas y molidas del huizache pueden utilizarse en las dietas de ganado lanar en crecimiento, hasta en 40% de inclusión en mezclas con rastrojo de maíz molido sin ocasionar trastornos clínicos.

Tabla 3. Degradabilidad *in situ* de la materia seca, materia orgánica y proteína cruda, para muestras de semilla y cáscara de huizache.

Parámetro (%)	Muestra			
	Semilla		Cáscara	
	Con taninos	Sin taninos	Con taninos	Sin taninos
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
DMS	60,9 ± 0,06c	70,0 ± 0,06a	59,2 ± 0,20d	61,8 ± 0,12b
DMO	61,0 ± 0,72c	70,7 ± 0,11a	62,0 ± 0,56c	68,9 ± 0,47b
DPC	67,7 ± 0,17c	71,6 ± 0,05a	72,1 ± 0,36a	70,9 ± 0,29b
DFDN	54,9 ± 0,26d	83,2 ± 0,57b	75,6 ± 0,26c	93,5 ± 0,26a
DFDA	52,5 ± 0,17d	74,7 ± 0,10b	60,7 ± 0,30c	77,1 ± 0,17a

Notas:
Todos los parámetros mostrados fueron evaluados por triplicado, $\bar{x}$ = media, *s* = desviación estándar
a, b, c Medias con diferente literal en la misma fila difieren significativamente (p<0,05)
DMS = digestibilidad de la materia seca
DMO = digestibilidad de la materia orgánica
DPC = digestibilidad de la proteína cruda
DFDN = digestibilidad de la fibra detergente neutra
DFDA = digestibilidad de la fibra detergente ácida

Todos los parámetros reportados sobre base seca

La tabla 4 expresa los resultados de los análisis de contenido en taninos. Existe diferencia estadística significativa entre taninos en semilla y taninos en cáscara (p=0,0124). La cáscara presentó un contenido considerablemente mayor de taninos condensados (taninos por reacción de Stiasny de 9,7), así como 11,6% de taninos hidrolizables y condensados (denominados proantocianidinas o catéquicos), a través de las pruebas realizadas con polvos de piel (método ALCA). La presencia de taninos se confirmó mediante una prueba colorimétrica, resultante de la reacción del extracto de agua de la cáscara con SO_4Fe y acetato de amonio. Este contenido en taninos curtientes en cáscara es mayor que los registrados en otras especies tales como *Acacia macrantha* (2,40%), *Enterolobium cyclocarpum* (1,18%), *Pithecellobium dulce* (1,01%), *Caesalpinia coriria* (5,25%) y *Lysiloma divaricata* (6,47%) (Pizzani *et al.,* 2006). Respecto a la semilla, ésta presentó considerablemente menos contenido de taninos condensados (1,8%), y de taninos curtientes (2,2%).

CONCLUSIONES

El huizache (*Acacia farnesiana*) tiene un alto valor nutricional por su contenido en proteína cruda (23%) y la concentración de aminoácidos esenciales, valorada tanto en semilla como en cáscara. Es un recurso potencialmente utilizable como una opción alimenticia de bajo costo para ganado ovino aún en épocas críticas de sequía, para formular dietas base suplementarias, haciendo una mezcla balanceada con gramíneas, las cuales suministrarían los aminoácidos azufrados deficitarios en las leguminosas.

Por otra parte, aunque la presencia de taninos no es un impedimento para el uso forrajero del fruto de esta especie, debido a que la mayor concentración es en follaje y corteza, se sugiere una extracción previa de los mismos, ya que su eliminación mejora la digestibilidad del forraje, pero además, los taninos podrían ser usados como un subproducto útil en la industria de las pieles como curtiente orgánico, o en las industrias farmacéu-

Tabla 4. Contenido de taninos en semilla y cáscara de huizache.

Parámetro	Unidad	Semilla	Cáscara
Humedad	(%)	12,6 ± 0,11b	13,0 ± 0,11a
Solubilidad: agua fría	(%)	6,9 ± 0,10a	4,0 ± 0,11b
agua caliente	(%)	6,3 ± 0,17a	6,2 ± 0,17a
Extracto total	(%)	22,4 ± 0,20b	24,6 ± 0,17a
Sólidos solubles totales (SST)	(%)	20,4 ± 0,20b	22,6 ± 0,15a
Taninos (polvos de piel)	(%)	2,2 ± 0,21b	11,6 ± 0,17a
Taninos (Índice de Stiasny)	(%)	1,8 ± 0,25b	9,7 ± 0,23a
Reacción de coloración	adimensional	Negativo	Positivo
pH	adimensional	4,0	4,5

Notas:
Todos los parámetros presentados fueron evaluados por triplicado, $\bar{x}$ = media, s = desviación estándar
a, b, c Medias con diferente literal en la misma fila difieren significativamente (p<0,05)

tica, química o vitivinícola, lo cual aumentaría su valor agregado.

El huizache es un recurso vegetal de amplia biodisponibilidad que no ha sido totalmente aprovechado, que podría ser una opción de bajo costo para alimentar ganado en épocas críticas.

REFERENCIAS

ALCA. 1970. Methods of Sampling and Analysis. American Leather Chemists Association, Cincinnati, Ohio. 28 p.

Alcántara, S.E., E.S. Ochoa, B.A. Aguilera y F. Perezgil. 1986. Huizache (*Acacia-farnesiana, Willd*) as an alternative resource in goat feeding. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 36(1):135-151.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA. 15th edition (ed. K. Helrich).

Barahona, R., C.E. Lascano, R.C. Cochran, J.L. Morril y E.C. Titgemeyer. 1997. Condensed tannins in tropical legumes: Concentration, astringency and effects on the nutrition of ruminants. 18 Congreso internacional de pastizales. Winnipeg, Canadá.

Barry, T.N. y W.C. McNabb. 1999. The implications of condensed tannins on the nutritive value of temperate forages fed to ruminants. British Journal of Nutrition 81(4):263-272.

Bhat, T.K., B. Singh y O.P. Sharma. 1998. Microbial degradation of tannins - A current perspective. Biodegradation 9(5):343-357.

Cardoso, M.C., R.C.C. Costa, B.C. Silva y G.L. Oliveira. 2011. Tannin extraction from the bark of *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* with sodium carbonate and sodium bisulfite. Floresta e Ambiente 18(1):1-8

Burns, R.E. 1971. Method for estimation of tannin in grain sorghum. Agron. J. 63:511-512.

Cecconello, G., M. Benezra y N.E. Obispo. 2003. Composición química y degradabilidad ruminal de los frutos de algunas especies forrajeras leñosas de un bosque seco tropical. Zootecnia Trop. 21(2):149-165.

Clarke, H.D., D.S. Seigler y J.E. Ebinger. 1989. *Acacia farnesiana* (Fabaceae, Mimosoideae) and related species from Mexico, the southwestern United States, and the Caribbean. Systematic Botany 14(4):549-564.

Ephraim, E., A. Odenyo y M. Ashenafi. 2005. Isolation and characterization of tannin-degrading bacteria from faecal samples of some wild ruminants in Ethiopia. Animal Feed Science and Technology 118 (3-4):243-253.

Famurewa J., A.V. y A.O. Raji. 2005. Parameters affecting milling qualities of undefatted soybeans (*Glycine max* L. Merill) (1) Selected thermal treatment. Int J Food Eng 1:1.

FAO/WHO. 1991. Protein Quality evaluation, Report of a joint FAO/WHO expert consultation. (FAO food and Nutrition Paper No 51). F. A. A. Organization. Roma, Italia.

Frutos, P., G. Hervás, F.J. Giráldez y R. Mantecón. 2004. Review. Tannins and ruminant nutrition. Spanish

Journal of Agricultural Research 2(2):191-202.

Gnamm, H. 1949. Die gerbstaffe und bermittel. Stuttgart, Germany. p:81-85.

Garro, G.J., B. Riedl y A.H. Conner. 1997. Analytical studies on tara tannins. Holzforschung 51(3):235-243.

Gómez, L.F., J. Signoret Poillon y M.D.C. Abuín Moreiras. 1970. Mezquites y huizaches: algunos aspectos de la economía, ecología y taxonomía de los géneros *Prosopis* y *Acacia* en México. Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A.C. México, D.F.

Granito, M., A. Torres y M. Guerra. 2003. Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. Interciencia 28(7):372-379.

Happich, M.L., C.W. Beebe y J.S. Rogers. 1954. Tannin evaluation of one hundred sixty-three species of plants. J. Amer. Leather Chem. Assoc. 49:760-773.

Hermosillo G., Y., J. Aguirre O., R.A. Rodríguez, C. Ortega A., A. Gómez G. y R. Magaña M. 2008. Métodos inductivos para maximizar la germinación de semilla de germoplasma nativo en vivero para sistemas silvopastoriles en Nayarit, México. Zooctecnia Trop. 26(3):355-358.

Honorato S., J.A. y J. Hernández P. 1998. Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. *Madera y Bosques* 4(2):79-93.

Hsu, H.N., D.L. Vavak, L.D. Satterlee y G.A. Miller. 1977. A multienzyme technique for estimating protein digestibility. Journals of Food Science 42:1269-1271.

Mueller-Harvey, I. 2006. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. Journal of the Science of Food and Agriculture 86(13):2010-2037.

Ochoa Esquivel, S. 1984. Uso potencial del ensilaje de huizache, *Acacia farnesiana L. Willd* en la alimentación de la cabra. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México. M.V.Z.: 66.

Paes, J.B., G.M. Santana, T.K. Barbosa de Azevedo, R. De Medeiros Morais y J.T. Calixto Júnior. 2010. Tannic substances present in several parts of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. var. *cebil* (Gris.) Alts.) tree. Sci. For., Piracicaba 38(87):441-447.

Pedraza-Bucio, F.E. y J.G. Rutiaga-Quiñones. 2011. Extracto tánico de la madera de palo de Brasil. Conciencia Tecnológica 42:36-41.

Pereira Filho, J.M., E.L.A.K. Vieira, A.M.A. Silva, M.F. Cezar y P.M.G. Beelen. 2005. Correlação entre o teor de tanino e a degradabilidade ruminal da matéria seca e proteína bruta do feno de jurema-preta (Mimosa tenuiflora Wild) tratada com hidróxido de sódio. Livestock Research for Rural Development 17(8) Art. 91.

Pizzani, P., I. Matute y G. Martino. 2006. Composición fitoquímica y nutricional de algunos frutos de árboles de interés forrajero de los llanos centrales de Venezuela. Rev. Fac. Cienc. Vet. 47(2):105-113.

Reed, J.D. 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. Journal of Animal Science 73(5):1516-1528.

Rojas-Rodríguez, F. y G. Torres-Córdoba. 2012. Árboles del valle central de Costa Rica: reproducción, aromo (*Acacia farnesiana*), Revista Forestal Mesoamericana Kurú (Costa Rica) 9(22):66-67.

Román Miranda, M.L., J.M. Palma, J. Zorrilla, A. Mora y A. Gallegos. 2008. In situ dry matter degradability of flour fruit of guacima, guazuma ulmifolia, with fruit diets from tree species. Zootecnia Tropical 26(3): 227-230.

Romero Lara, C.E., J.M Palma García y L. Juan. 2000. Influencia del pastoreo en la concentracion de fenoles totales y taninos condensados en *Gliricidia sepium* en el tropico seco. Livestock Research for Rural Development 12(4):1-9.

Rzedowski, J. 1988. Análisis de la distribución geográfica del complejo *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae) en Norteamérica. Acta Bot. Mex. 3:7-19.

Sánchez, O. 1980. La flora del Valle de México. 8ª ed. Herrero. México.

Semarnat, Instituto Nacional de Ecología (INE). 2007. INE.gob.mx.

Sotelo, A. 1981. Leguminosas silvestres, reserva de proteínas para alimentación del futuro. Inf. Científica Tecnol. 3:28-34.

Suman, C.N., P.V. Monterio, G. Ramachandra y L. Sudharshana. 1992. In vitro enzyme hydrolysis of the storage proteins of japanese barnyard millet (*Echinochloa frumentacea*). Journal of Science of Food and Agriculture 58(4):505–509.

Tejada de Hernández, I. 1985. Manual de laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. México, D.F. p. 387.

Tukey, J.W. 1949. Comparing individual means in the analysis of variance. Biometrics 5:99-114.

Urribarrí C.,L., A. Ferrer O. y A. Colina. 2004. Extracción y precipitación de las proteínas solubles del pasto elefante enano (*Pennisetum purpureum* Schum cv. Mott). Rev. Fac. Agron (LUZ) 21:264-275.

Valerio, S. 1994. Contenido de taninos y digestibilidad *in vitro* de algunos forrajes tropicales. Agroforestería en las Américas 1(3):10-13.

Van Soest, P.J. 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. J. Ass. Offic. Agr. Chem. 46:829-835.

Velázquez, A.J., R. Perezgrovas, M.E. Velasco, L. Zaragoza y G. Rodríguez. 2005. "Evaluación de vainas de quebracho (*Acacia farnesiana*) en Alimentación de Ganado lanar. Archivos de Zootecnia 54(206-207):535-540.

Velázquez, A.J., M. González, J. Bórquez, I.A. Domínguez y R. Perezgrovas. 2011. Composición química y producción de gas *in vitro* de dietas con vainas de *Acacia farnesiana*. Arch. Zootec. 60: 1-9.

Vieira, M.C., R.C.C. Lelis, B.C. Silva y G.L. Oliveira. 2011. Tannin extraction from the bark of *Pinus oocarpa* var.

oocarpa with sodium carbonate and sodium bisulfite. Floresta e Ambiente 18(1):1-8

Waterman, P.G. y S. Mole. 1994. Methods in ecology. Analysis of phenolic plant metabolites. Blackwell Scientific publications. 237p.

Manuscrito recibido el 22 de mayo de 2012.
Aceptado el 17 de octubre de 2012.

Este documento se debe citar como:
Barrientos-Ramírez, L., J.J. Vargas-Radillo, A. Rodríguez-Rivas, H.G. Ochoa-Ruíz, F. Navarro-Arzate y J. Zorrilla. 2012. Evaluación de las características del fruto de huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) para su posible uso en curtiduría o alimentación animal. *Madera y Bosques* 18(3):23-35.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta

Characterization of maize leaves and of sugarcane bagasse to elaborate of a mixed cellulose pulp

Maribel Prado-Martínez[1], José Anzaldo-Hernández[2], Bruno Becerra-Aguilar[2], Hilda Palacios-Juárez[2], José de Jesús Vargas-Radillo[2] y Maite Rentería-Urquiza[1]

RESUMEN

En este artículo se presentan los resultados obtenidos en la caracterización química y morfológica de las hojas de mazorca de maíz (*Zea mays*) y del bagazo de caña (*Saccharum officinarum* L.). Se analizaron porcentajes de α-celulosa, holocelulosa, lignina y cenizas, según las Normas Tappi para cada componente y el método de Jayme-Wise. Se determinaron las propiedades biométricas de las fibras de cada planta (longitud y diámetro, grosor de la pared y diámetro del lumen). Además, se estimaron los índices de calidad de pulpa para papel. Este estudio se hizo con la finalidad de tener información de ambas plantas para su posterior tratamiento de pulpeo, blanqueo y mezcla, para la obtención de una pulpa celulósica óptima, a partir de sus residuos. Los resultados indican que el contenido de holocelulosa en las hojas de mazorca se encuentra en el intervalo de los materiales usados comúnmente en la producción de pulpa para papel y es cercano al observado en el bagazo de caña. La caracterización morfológica de las fibras mostró que la longitud de las mismas es muy parecida, no así el ancho, el espesor y el lumen. Las hojas de mazorca de maíz presentaron fibra con mejores características para la fabricación de una pulpa óptima, al situarse en el intervalo de "muy buena", según la clasificación de Runkel. Por su parte, la fibra de bagazo de caña, presentó características "buenas".

PALABRAS CLAVE:
Caracterización química, morfología de fibra, pulpa celulósica, *Saccharum officinarum, Zea mays.*

ABSTRACT

This article presents the results obtained in chemical and morphological, characterization of corn cob leaves (*Zea mays*), and bagasse of sugarcane (*Saccharum officinarum*). Percentage of α-cellulose, holocellulose, lignin and ashes, according to the Tappi standards and the Jayme-Wise method for each component, were analyzad. Biometric properties of each plant fibers (length and diameter, wall thickness and lumen diameter) were determined. Indices of quality of paper pulp for paper were also estimated. This study was conducted in order to get information of both plants for further treatment of pulping, bleaching and mixing, to obtain an optimal cellulosic pulp, from their waste. The results indicate that the content of holocellulose in the leaves of maize ear is in the range of materials commonly used in the production of pulp for paper and is close to that observed in sugarcane bagasse.

1 Departamento de Química, CUCEI-Universidad de Guadalajara. Blvd. Marcelino García Barragán 1451, C.P. 44430, Guadalajara Jalisco, México. C.e.: reurmaite@yahoo.es
2 Departamento de Madera, Celulosa y Papel, CUCEI-Universidad de Guadalajara. Carretera Guadalajara-Nogales, Km. 14½ Predio Las Agujas, Nextipac, Jalisco, México.

Morphological characterization of fibers showed that the length of them is very similar, unlike the width, thickness and lumen diameter. Corn cob leaves presented fiber with best features for an optimal pulp manufacturing. They were “very good”, according to Runkel´s classification. For its part, sugarcane bagasse fiber, presented “good” features.

KEY WORDS:
Chemical characterization, morphology of fiber, cellulose pulp, *Saccharum officinarum, Zea mays*.

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que el ciclo del papel inicia en el bosque, es de vital importancia para las industrias de la celulosa y del papel, impulsar en la medida de lo posible el desarrollo forestal y la utilización racional de los recursos forestales. Es necesario complementar lo anterior con una cultura del reciclaje, con la utilización de los residuos generados con otras fibras utilizadas en la fabricación de celulosa y la producción sustentable del papel; todo ello en la búsqueda de un desarrollo con calidad y beneficios ambientales, económicos y sociales de trascendencia para las generaciones actuales y las futuras. (Conafor, 1992; Prado, 2007).

De acuerdo con la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), los productos forestales no madereros (PFNM) son bienes de origen biológico, distintos de la madera, derivados del bosque, de otras áreas forestales y de los árboles fuera de los bosques. Los PFNM pueden recolectarse en forma silvestre o producirse en plantaciones forestales o sistemas agroforestales. Estos productos, en su gran mayoría de origen vegetal, son utilizados como alimentos y aditivos alimentarios (semillas comestibles, hongos, frutos, condimentos, aromatizantes), fibras, instrumentos o utensilios, resinas, gomas, y otros usados con fines medicinales, cosméticos o culturales (López, 2008).

México dispone de considerables reservas de material para la producción de celulosa a partir de fibras no maderables, tales como resinas, fibras, gomas, ceras, rizomas y otros (hongos, semillas, hojas, nopal, tallos, frutos, musgo, heno, etc.) (Semarnat, 2011; Tapia, 2008). La celulosa puede obtenerse de la planta virgen, pero también de los residuos generados por ellas. De esta forma se aprovecharía el excedente de los desechos producidos, se crearía un material con buenas aplicaciones y surgiría un nuevo mercado industrial (Semarnat, 2011; Tapia, 2008).

En el año 2011, la producción forestal no maderable en México fue de 63,9 miles de toneladas. Esta cifra es tan solo inferior en 3,8%, respecto a la producción del año anterior. La producción más alta en los últimos diez años se sitúa en 2003 con 97,6 miles de toneladas (Semarnat, 2011; Saval, 2012; Casey, 1990).

Con una combinación adecuada de fibras vegetales no maderables es posible producir pulpa celulósica de calidad. Entre las ventajas que presentan frente a las fibras maderables están un menor consumo de reactivos y de energía, además de producir menos residuos tóxicos durante su tratamiento (López, 2008).

El interés en utilizar los materiales fibrosos no maderables como los residuos agrícolas es múltiple:

1. Sustituir, por lo menos parcialmente, la materia prima maderable para la fabricación de papel, disminuyendo por lo tanto la deforestación que da lugar a problemas ambientales graves.
2. Disponer de residuos agrícolas, ya que la industria agrícola cuenta con grandes excedentes de las cosechas.

3. Con el empleo de estas materias primas se podrían aumentar las producciones de pulpas y derivados, consiguiendo abastecer el consumo de fibras en México.

Pero es necesaria la caracterización de las fibras para conocer su composición química, su morfología y la cantidad que se genera. Con esto se pueden definir las tecnologías más apropiadas para su aprovechamiento y posterior tratamiento, aunado a un enfoque de responsabilidad ambiental.

El maíz es una planta herbácea anual, nativa del hemisferio norte, originaria de México desde hace unos 10 mil años y que se cultiva en todo el mundo. Representa una de las principales fuentes de alimentación para casi todas las comunidades de México. Las regiones ganaderas de Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Michoacán, Aguascalientes, Hidalgo, la región lagunera y otras, cada año destinan más maíz para la alimentación animal, ya sea para ensilaje o como forraje seco. Solo en Jalisco hay un estimado de 100,000 hectáreas dedicadas a usos forrajeros (Ron *et al.*, 2006). La producción de biomasa residual que genera un cultivo de maíz (cañas, hojas de maíz, hojas de mazorca de maíz y mazorcas) fluctúa entre las 20 y 35 toneladas por hectárea y en el maíz de choclo (cañas y hojas), varía de 16 a 25 toneladas por hectárea (González, 1995; IDEA, 2007; Imba, 2011).

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz. Procede del Extremo Oriente, de donde llegó a España en el siglo IX. En México apareció tras la Conquista, instalándose las primeras industrias azucareras en las partes cálidas del país, como parte de la colonización. Suministra 70% de la demanda internacional de azúcar, seguida de la remolacha. El azúcar se obtiene del jugo fresco y dulce de la caña, sus hojas y tallos se utilizan como forraje para el ganado. Hay diferentes tipos de azúcar, desde el piloncillo o panela hasta el azúcar refinado, los cuales se usan como alimento básico del hombre o como materia prima para la industria. Ésta lo transforma en alcohol etílico, ácido láctico, dextrosa y glicerina. (Rutiaga *et al.*, 2002; Sidney, 1991; Matta, 1991). Es la principal actividad económica en 15 estados y 227 municipios de la república, donde se siembra y procesa caña de azúcar, aunque tiene presencia en 667 municipios (Aguilar *et al.*, 2011). Los estados con mayor producción son Veracruz, seguido de Jalisco, donde se alcanzan las 6 toneladas anuales y Oaxaca (Sagarpa, 2010). Actualmente, y debido a los problemas medioambientales, se hace referencia a la caña de azúcar como fuente de biomasa para obtener energía renovable. Más de 70% de la producción de los residuos de la industria azucarera se destinan a la producción de bioetanol. El uso de la biomasa como energía representa en México 8% de la demanda de energía primaria y está centrada en el uso de leña residencial y de pequeñas industrias y en el uso de bagazo de caña en ingenios azucareros. Sin embargo, la bioenergía tiene un potencial mucho más amplio y podría convertirse en uno de los pilares del desarrollo sustentable del país. (Conafor, 2012).

Dado que las propiedades mecánicas del papel dependen no sólo de las propiedades morfológicas, sino también del contenido de lignina y celulosa, es importante conocer la proporción de estos en la materia prima fibrosa. Asimismo, la composición química indica el porcentaje de rendimiento teórico a obtener durante el proceso de transformación a pulpa, además de la cantidad de agentes químicos para su tratamiento. Además, debido a la gran cantidad de residuos que la industria agraria del maíz (aproximada-

mente 10 toneladas de residuos por hectárea) (Sener, 2011) y los ingenios azucareros (por cada tonelada de caña procesada se obtienen de 30 kg a 50 kg de este residuo) (Pérez *et al.*, 2011) generan en México, se tendría una solución óptima para el problema del manejo y tratamiento de los mismos, así como para el aprovechamiento de los recursos naturales. Esto es importante puesto que estamos en una época crucial en el desarrollo futuro de la humanidad y dentro de un contexto integral sobre protección ambiental y sustentabilidad.

OBJETIVOS

Determinar los componentes químicos de dos plantas no madereras, maíz (hojas de mazorca) (*Zea mays*) y bagazo de caña *(Saccharum officinarum) y conocer* la morfología de sus fibras, con el fin de evaluar la factibilidad de su uso en la producción de pulpa celulósica mixta.

METODOLOGÍA

Las hojas de maíz utilizadas fueron proporcionadas por la fábrica tamalera "La Candelaria" de la ciudad de Guadalajara. El bagazo de caña fue recolectado de la zafra de 2006 en el ingenio "José María Martínez" del municipio de Tala, Jalisco. Tanto el muestreo como la preparación de las muestras para los análisis se llevaron a cabo de acuerdo con lo descrito en las normas Tappi (Tappi, 1997) y en el ensayo Jayme-Wise.

Preparación de la muestra para caracterización química y morfológica (T 264 cm-97)

El material se pasó por un molino de martillo y se tamizó en un equipo Ro-Tap. El primer tamiz fue de malla número 40 (0,420 mm) y el segundo de malla número 60 (0,25 mm). La muestra retenida en este último tamiz fue la considerada para la caracterización química. Se tomaron entre 9 g y 10 g de muestra, peso base seca, para los análisis químicos. De acuerdo con la norma T 264 cm-97, la muestra debe estar libre de extraíbles, por lo cual se llevó a cabo un proceso de extracción Soxhlet usando 200 ml de solvente, etanol: tolueno (1:2 por volumen) durante 6 horas, seguido de un lavado con etanol y una segunda extracción también con etanol (95% pureza), durante 4 horas. Después, la muestra fue lavada con 500 ml de agua destilada y secada a temperatura ambiente.

Determinación de los componentes químicos

1. Determinación de holocelulosa (método Jayme-Wise) (Wise et al., 1946)

Para la cuantificación de la holocelulosa se pesaron 2,5 g de muestra libre de extraíbles en un matraz Erlenmeyer de 250 ml de capacidad, aplicando un tratamiento de cinco etapas con clorito sódico ($NaClO_2$) en medio ácido (CH_3COOH). Cada etapa duró 1 hora y se realizó a una temperatura de 70 ºC en baño María con agitación ocasional. Después se enfrío la muestra, colocando el Erlenmeyer en un recipiente con hielo, hasta que la temperatura fue de 10 °C. Se filtró la muestra por un filtro Gooch de porosidad fina, se lavó con agua fría destilada, posteriormente con acetona y se dejó secar en una estufa de vacío a 105 ºC durante 24 horas. Por último, se colocó en un desecador y se pesó.

2. Determinación de α-celulosa

La determinación de α-celulosa, realizada mediante la norma T 203 cm-99, es un procedimiento que se deriva

del análisis de holocelulosa. Se pesaron 2,0 g de muestra de holocelulosa seca en un vaso de precipitado de 300 ml y se añadieron 35 ml de una solución de NaOH al 17,5%, mezclando con una varilla de vidrio. Cada 5 minutos se añadió un volumen de 2,5 ml de la misma solución de NaOH, hasta completar un volumen de 100 ml. Finalmente se adicionaron 100 ml de agua destilada y se mantuvo la mezcla a 20 °C durante una hora, antes de filtrarse.

En un matraz de 250 ml se agregaron 10 ml de la solución filtrada más 20 ml de $K_2Cr_2O_7$ 0.5N y 30 ml de H_2SO_4 concentrado, dejando que la solución permaneciera caliente durante 15 minutos, tras lo cual se añadieron 50 ml de H_2O y se dejó enfriar a temperatura ambiente, añadiendo de 2 a 4 gotas de indicador "Ferroín". Se tituló con solución de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ 0.1N hasta color púrpura (vire; verde → púrpura). El blanco para esta titulación se preparó sustituyendo el filtrado de la pulpa con 12,5 ml de NaOH a 17,5% y 12,5 ml de agua (Vire naranja-verde-púrpura). El contenido de α-celulosa se calcula con la ecuación 1.

$$\%\ alfa\ celulosa = 100 - \left[\frac{6{,}85\ (V_2 - V_1) \cdot N \cdot 20}{A \cdot W}\right] \quad 1)$$

donde:

V_1: Titulación del filtrado de la pulpa, ml
V_2: Titulación en blanco, ml
N: Normalidad exacta de la solución de sulfato ferroso amoniacal
A: Volumen del filtrado de la pulpa usado en la oxidación, ml
W: Peso del espécimen de la pulpa secada en la estufa, g

3. Determinación de lignina

Para la determinación de lignina se aplicó la norma T 222 om-98. Se añadieron 2,0 g de muestra anhidra libre de extraíbles, en un vaso de precipitado de 100 ml y se le agregaron 15 ml de H_2SO_4 al 72%, macerando el material con una varilla de vidrio. Después se transfirió a un matraz bola agregando 400 ml de agua destilada, se agitó suavemente y se diluyó con agua hasta alcanzar una concentración de ácido al 3% equivalente a un volumen de 575 ml. Posteriormente, se hirvió a reflujo durante 4 horas para asegurar un volumen constante de agua. La solución se decantó, manteniendo el matraz en una posición inclinada hasta que el material estuvo finalmente separado. Se filtró a través de un filtro Gooch de porosidad fina y fue lavado con agua caliente y secado a 105 ºC ± 3 ºC hasta alcanzar un peso constante. El cálculo se realizó con la ecuación 2.

$$\%\ Lignina = \frac{A \cdot 100}{W} \quad (2)$$

donde:

A: peso de lignina, g
W: peso del espécimen secado en la estufa, g

4. Determinación de cenizas

Se usó la norma T 211 om-93. Se tomaron 4 g de muestra libre de extractos, colocándose en un crisol de peso conocido y dejándose secar hasta peso constante. Después se quemó directamente a la llama y posteriormente se introdujo en una mufla a 500 ºC ± 15 ºC, para la combustión total del carbón generado. Finamente, se dejó enfriar la muestra en un desecador y se pesó. El porcentaje de cenizas se calculó con base en el peso anhidro de la muestra (Ec. 3).

$$Ceniza\ (\%) = \frac{(A \cdot 100)}{B} \quad (3)$$

donde:

A: Peso de la ceniza, g
B: Peso base seca del espécimen de prueba, g

Caracterización morfológica

En el estudio morfológico se partió de la aplicación del método de maceración Franklin con la finalidad de obtener células aisladas. El material fibroso se colocó en tubos de ensayo añadiéndoles partes iguales de ácido acético (CH_3COOH) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Se colocaron en baño María a 50 ºC, hasta obtener un color blanquecino (48 h). El material tratado se lavó con agua destilada y después se agitó para lograr la disociación de los elementos. Las células se tiñeron ligeramente con safranina acuosa (solución acuosa colorante), lavándose e introduciéndose después en fenol glicerina (20 ml de fenol derretido, 40 ml de glicerina y 40 ml de agua). Posteriormente, se colocó el material sobre láminas, se dispersó con agua y se colocó sobre una placa de calentamiento a 60 ºC para evaporar el agua. Se tapó con un cubreobjetos y se montaron las láminas en un microscopio de proyección marca Leitz tipo 31.047.500. Se realizaron 30 mediciones de la longitud (mm) y diámetro (µm) de las fibras y diámetro de lumen (µm). Cada fibra se midió en tres segmentos y al final se sumaron y se multiplicaron por un factor de 0,01014 para longitud y 0,00106 para ancho y lumen de la fibra. Con los datos obtenidos se calculó el espesor de pared (Ec. 4) e índices de calidad como coeficiente de flexibilidad (Ec. 5), relación Runkel (E. 6) y fracción de pared (Palacios, 2003; Juárez, 1993; Monteoliva, 2005). El índice de flexibilidad y la relación Runkel, se calcularon con los valores promedio medidos en el corte transversal.

$$Espesor\ de\ pared = \frac{Ancho\ fibra - Lumen}{Lumen} \quad (4)$$

$$Flexibilidad = \frac{Lumen}{Ancho\ fibra} \quad (5)$$

$$Relación\ Runkel = \frac{2 \cdot espesor\ de\ pared}{Lumen} \quad (6)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización química

Los resultados obtenidos de la caracterización química de ambas plantas, se presentan en la tabla 1. Comparados con los valores encontrados en la literatura para el bagazo de caña de azúcar, se concluye, que estos dos materiales fibrosos son muy similares (Akbari, 2012; Hurter, 2001; Vega *et al.*, 2008).

El contenido de holocelulosa en las hojas de mazorca es adecuado, dado que

Tabla 1. Composición química de la hoja de mazorca de maíz y del bagazo de caña. Comparación con valores publicados.

Compuesto	Hoja de mazorca porcentaje (%) base seca	Bagazo de caña porcentaje (%) base seca	Bagazo de caña de azúcar porcentaje (%)* base seca
Holocelulosa	78,86	73,24	59-76
α-Celulosa	43,14	41,67	32-44
Lignina	23,00	19,98	19-24
Cenizas	0,761	1,300	1,5-5,0

* Datos obtenidos por Hurter (2001)

se encuentra en el intervalo de los materiales usados comúnmente en la producción de pulpa para papel (67%-70% material base seca) (Hurter, 2001), lo mismo ocurre con el bagazo de caña. En cuanto al contenido de lignina en las hojas de mazorca, es relativamente bajo, comparado con el contenido de lignina en las maderas latifoliadas, en donde se sitúa entre 23% y 30% (Hurter, 2001). Característica más marcada para el bagazo, donde el porcentaje no supera 20%. Esto indica que la carga de agentes químicos y tiempo de reacción durante el proceso de pulpeo, en ambos casos, serán inferiores o iguales a los aplicados para maderas latifoliadas y plantas anuales.

Caracterización morfológica de las fibras

Propiedades biométricas de las fibras

En la figura 1 se indican las diferentes partes de las fibras. En la tabla 2 se aprecian los resultados de las mediciones biométricas de las fibras que forman parte de las hojas de mazorca y las fibras del bagazo de caña. Dichos valores son comparados con las dimensiones de otras especies de coníferas como la *Jacaranda acutifolia* o la *Tilia mexicana*, entre otras (Tamarit, 1996), utilizadas en la industria de pulpa y papel.

Los resultados para el maíz, coinciden con lo explicado por Palacios (2003), quien propuso una clasificación y medidas en lo que respecta a la longitud promedio de las fibras de las hojas de mazorca, colocando a éstas dentro del grupo de fibras moderadamente largas. Esa longitud es incluso similar a la que presentan algunas maderas coníferas como las ya mencionadas: *Jacaranda acutifolia*, *Tilia mexicana*, *Bellotia mexicana* o *Clethra mexicana*, entre otras, y que puede alcanzar los 3 mm y mayor, que para otras especies de fibras no maderables como el bagazo de caña (cuyo dato también se analizó), el *Kenaf*, el bambú y maderas latifoliadas como el *Eucalyptus globulus*, donde las fibras son en general “fibras cortas” (Tabla 2) (Tamarit, 1996; Sanjuan, 1997; Estrada, 2010; Cea, 2011). El ancho de la fibra es de 47,4 µm, mayor que el que presentan otras fibras no maderables. Esto repre-



Figura 1. Propiedades biométricas de las fibras.

senta una ventaja en el proceso de formación del papel, porque origina una rigidez mayor y aumenta considerablemente la resistencia al rasgado, así como una resistencia a la degradación por la acción mecánica durante el batido (Monteoliva, 2005; Núñez, 2004; Aguilar, 2011). Teniendo en cuenta el espesor de la pared y el ancho de la fibra, podemos decir que las fibras de mazorca presentan una pared delgada, de acuerdo con lo descrito por Petroff (1968). Las fibras de hojas de mazorca de maíz presentan un espesor de la pared celular promedio de 7,5 µm, característica que contribuye a la producción de un volumen mayor de la pulpa, hojas más gruesas y resistentes al rasgado, explosión y tensión, lo que queda comprobado con su coeficiente de flexibilidad (Tabla 3) y cuyo valor es mayor que 0,5 (Monteoliva, 2005). El lumen de estas fibras es, en promedio, de 32,1 µm, lo que hace aumentar la capacidad de impregnación en el proceso de pulpeo (Monteoliva, 2005).

El análisis de la fibra de bagazo de caña muestra una fibra con una longitud de 1,50 mm, la cual, aun siendo mayor que la que presentan las maderas latifoliadas, no alcanza los valores observados en las coníferas. El ancho de fibra de 20 µm, es menor que el observado en el caso de las hojas de maíz, pero le confiere al papel buena resistencia, sobre todo al rasgado. (Monteoliva, 2005; Núñez, 2004). La pared de las fibras se considera media, ya que la relación que hay entre el espesor y el ancho de fibra vale 0,4 (Petroff, 1968). Al igual que para el maíz, el lumen de esta fibra, 12,0 µm, origina un índice de flexibilidad de 0,6 (Tabla 3), lo que indica que el papel presentará buena resistencia a la tracción, por tener un mayor grosor de la hoja.

Comparando ambos materiales podemos afirmar que las fibras de las hojas de maíz presentan características morfológicas más adecuadas para la obtención de un papel con resistencia mecánica mayor, que el que se obtendría con las fibras de bagazo de caña. Existe un mayor colapso de fibras en el primer material y eso se refleja en una mejor calidad de la pulpa.

Índices de calidad de las fibras

A partir de la medición biométrica de las fibras: largo, ancho, lumen y espesor de la pared celular, se calcularon los índices de calidad de las pulpas, utili-

Tabla 2. Propiedades biométricas comparativas de fibras de diversas fuentes.

Especie	Longitud promedio (mm)	Ancho de la fibra (µm)	Lumen (µm)	Espesor (µm)
Hoja de maíz	1,86	47,4	32,1	7,5
Bagazo de caña	1,50	20,0	12,0	4,0
*Eucalyptus globulus**	0,94	18,3	9,65	4,3
*Kenaf **	1,29	22,1	12,7	4,3
*Jacaranda acutifolia***	0,90	14,0	10,0	2,0
*Tilia mexicana***	1,31	28,0	20,0	4,0
*Bellotia mexicana***	1,49	41,0	27,0	7,0
*Clethra mexicana***	2,33	35,0	21,0	7,0

* Valores obtenidos para estas especies por Sanjuan (1997).
** Valores obtenidos para estas especies por Tamarit (1996).

zando la relación de Runkel (Tabla 3). Cuanto menor sea, mayor flexibilidad de las fibras y mayor posibilidad de producir papel de buena calidad (Cea, 2011). Cuando este índice es menor que 0,25, se considera que la calidad de la pulpa es *excelente* para la fabricación de papel. Si el valor se sitúa entre 0,25 y 0,50, la calidad de la pulpa será *muy buena*. Entre 0,50 y 1,00 se tendrá una calidad *buena*. Valores entre 1,00 y 2,00 indican una calidad de pulpa *regular* y cuando el índice es mayor de 2,00, la calidad de la pulpa es *mala* (Larios, 1979).

La relación de Runkel de las fibras de hoja de mazorca las señala como adecuadas para producir un papel de muy buena calidad. Para el bagazo de caña, la calidad es un poco inferior, es decir, presenta un factor mayor, pero sigue siendo de calidad buena. Ambos materiales presentan mejores características generales para la obtención de pulpa que la mayoría de las plantas latifoliadas consideradas en la comparación.

Cuanto menor es la relación largo/ancho, mayor es la flexibilidad de las fibras y mayor la posibilidad de producir un papel de buena calidad. Cuando este factor es mayor que la unidad, la materia prima no es apropiada para dicha tarea (Santiago *et al*., 2002). El índice de flexibilidad indica que las fibras de hoja de mazorca tienen la propiedad de colapsarse parcialmente, por lo que se obtendrá una pulpa menos voluminosa. Además, presentan una sección transversal elíptica, una unión entre fibra y fibra buena, y la pared celular es delgada. Este coeficiente está relacionado directamente con la resistencia al doblez, a mayor flexibilidad, mayor capacidad de doblarse (Cea, 2011). El valor observado para el bagazo de caña es un poco inferior que el del maíz, por lo que su comportamiento diferirá un poco y su resistencia a ser doblado, será mayor.

El coeficiente de rigidez que presentan las fibras de hoja de mazorca es bajo, de acuerdo con la clasificación

Tabla 3. Índices de calidad de las fibras de las hojas de maíz y de bagazo de caña en comparación con otros materiales fibrosos.

Tipo de fibra	Relación de Runkel	Coeficiente de rigidez	Coeficiente de flexibilidad	Clasificación calidad pulpa según la relación de Runkel
Hoja de mazorca				
Zea mays	0,466	0,316	0,677	Muy buena
Bagazo de caña				
Saccharum officinarum L.	0,660	0,400	0,600	Buena
*Eucalyptus globulus**	0,895	0,472	0,527	Buena
*Eucalyptus dunnii**	0,686	0,407	0,592	Buena
*Jacaranda acutifolia***	0,400	0,280	0,710	Muy buena
*Tilia mexicana***	0,400	0,280	0,710	Muy buena
*Bellotia mexicana***	0,510	0,340	0,650	Buena
*Clethra mexicana***	0,660	0,340	0,600	Buena

* Valores obtenidos para estas especies por Sanjuan (1997).

** Valores obtenidos para estas especies por Tamarit (1996).

presentada por Larios (1979) y cataloga a la pared de la fibra como delgada, por lo que la rigidez es baja. El bagazo de caña, sin embargo, presenta un valor superior, lo que implica que la pared de sus fibras celulares es de tipo medio, al igual que la rigidez. Este coeficiente influye de manera notoria en la resistencia al rasgado, siendo ésta una de las características más importantes en pulpas sin batir. Presenta además, una relación negativa en la porosidad de la hoja (Petroff, 1968).

De lo antes referido se desprende que la calidad de las fibras de las hojas de mazorca y del bagazo de caña son adecuadas para la producción de papel con características similares a las obtenidas con maderas de otras plantas anuales y plantas latifoliadas como el eucalipto. Sin embargo, se han considerado sólo las propiedades biométricas de las fibras, sin considerar la presencia del parénquima (células que no presentan carácter fibroso) cuyo aporte a las resistencias mecánicas del papel es bajo (Marques, 2008).

Descripción de los elementos que conforman a la hoja de mazorca de maíz

La planta de maíz está clasificada dentro del grupo de las monocotiledóneas, las cuales transportan las sales disueltas y los fotosintatos, desde las raíces hacia las hojas, y viceversa, a través de los vasos de xilema y floema (Fig. 2). Estos vasos, están reforzados por fibras, conformando, junto con tejido parenquimático, los haces fibrovasculares que se ordenan en nervaduras paralelinervas en toda la lámina. De estos haces fibrovasculares se obtienen las fibras que son materia prima para producir papel.

El tejido de las hojas de maíz tiene una estructura celular conformada por células parenquimatosas de paredes delgadas y con numerosas perforaciones (Fig. 3a) características en las gramíneas como el bagazo de caña de azúcar. Algunos de los vasos que se encuentran presentes son cribosos (vasos con puntuaciones, Fig. 3b) y otros espiralados (Fig. 3c).

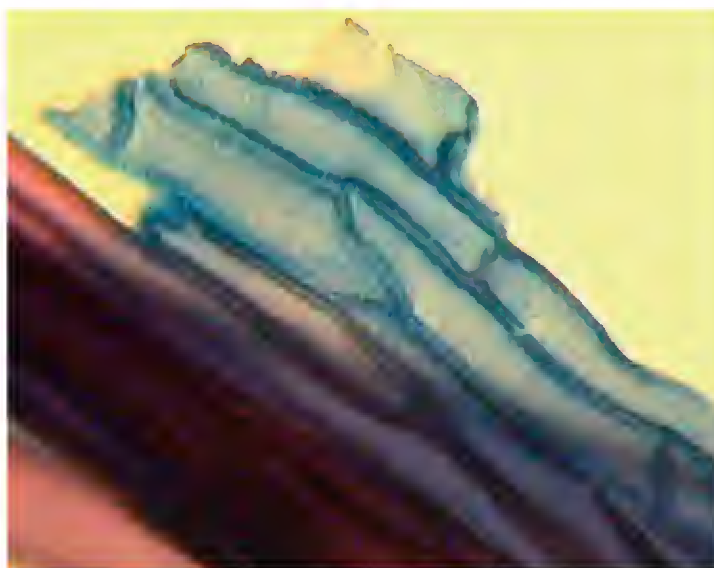


Figura 2. Segmentos de vasos y sistema del transporte de sustancias presentes en las hojas de mazorca de maíz.

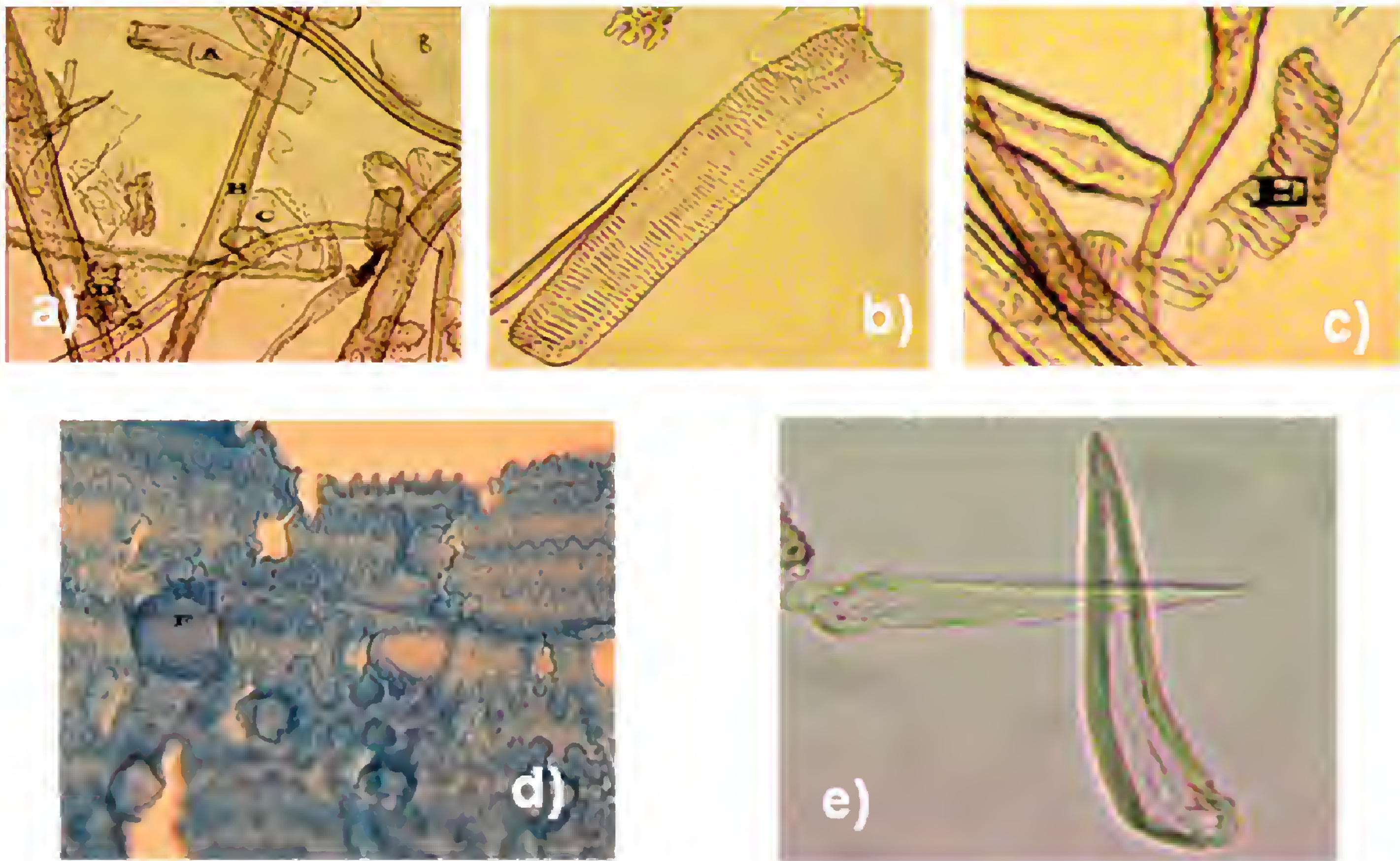


Figura 3. *a)* Elementos celulares. A= Vaso criboso; B= Fibra de pared gruesa; C= Parénquima; D= Células epidérmicas; *b)* Vaso criboso; *c)* E=Vaso espiralado; *d)* Tejido epidérmico; *e)* Tricomas (pelos epidérmicos).

Las fibras son de pared celular gruesa, lumen medio, moderadamente largas y se caracterizan por presentar extremos romos, agudos, además de otras fibras dentadas y horquilladas con puntos en sus superficies. Las células epidérmicas o peines son rectangulares y presentan dientes en los bordes laterales (Fig. 3d). Otra característica morfológica de las hojas es la presencia de pelos epidérmicos o tricromas (Fig. 3e).

El tejido del bagazo de caña tiene una estructura celular conformada por médula, compuesta principalmente por células parenquimatosas de paredes delgadas, elásticas y con numerosas perforaciones. Además de estar asociada a los haces fibrovasculares, los cuales son finos, de paredes delgadas con extremos romos, orquillas, sus superficies presentan ocasionalmente pequeños poros. Por otro lado, las fibras de la corteza son muy lignificadas, de mayor longitud, diámetro y paredes gruesas y presentan poros en toda la superficie (Stergios, 2006; Triana*,* 1990) (Fig. 4).

CONCLUSIONES

Por el alto contenido de holocelulosa y α-celulosa, tanto las hojas de mazorca de maíz, como el bagazo de caña, son en comparación con otras fuentes de fibra, materias primas adecuadas para la fabricación de papeles especiales y para la obtención de derivados de celulosa, situación que permite aprovechar el excedente de residuos.

El estudio biométrico de las fibras de las hojas de mazorca de maíz muestra que son un material fibroso con buenas propiedades de resistencia al batido. Además, poseen un lumen ancho,

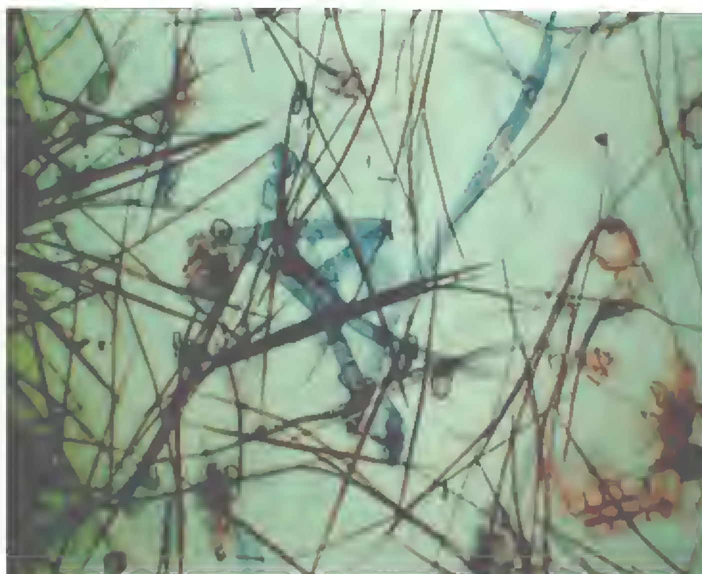


Figura 4. Morfología del bagazo de caña de azúcar.

aumentando con esto la capacidad de impregnación en el proceso de pulpeo. Los valores observados para el caso del bagazo de caña son menores, por lo que la rigidez, la resistencia al rasgado, a la explosión y a la tensión son inferiores. Aun así, la longitud de la fibra la sitúa dentro de las fibras largas, por lo que en su mezcla con las fibras de las hojas de mazorca de maíz, se obtiene una pulpa celulósica aprovechable.

Las propiedades biométricas de las fibras se ven afectadas por la presencia de una excesiva cantidad de parénquima en el material, quedando las propiedades de resistencia condicionadas a su comportamiento como material integral y su interacción con las fibras de la pulpa del bagazo de caña.

La hoja de maíz es una materia prima idónea para la obtención de papel especial, mezclada adecuadamente con bagazo de caña u otro material de fibra larga.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Departamento de Madera Celulosa y Papel, del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, de la Universidad de Guadalajara, las facilidades prestadas para la utilización de los laboratorios de investigación del Centro y a los investigadores Jesús Rivera Prado, José Turrado, Alma Rosa y Salvador Pérez, por facilitar la utilización del Laboratorio de Tecnología del Papel y aportar asesoría en el laboratorio de pruebas físicas Al ingeniero Francisco Pérez Carrillo, de la empresa tamalera "La Candelaria", por el financiamiento privado que realizó para la ejecución de este trabajo.

REFERENCIAS

Aguilar, R.N., M.G. Galindo, M.J. Fortanelli, y S.C. Contreras. 2011. Factores de competitividad de la agroindustria de la caña de azúcar en México. Región y sociedad (52):261-297.

Aguilar, R.N. 2011. Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. Ingeniería Investigación y Tecnología 12(1):189-197.

Akbari, M. y H. Resalati. 2012. Use of agricultural waste in the pulp and paper industry. 1th International and 4th

National Congress on Recycling of Organic Waste in Agriculture. Irán. 4 p.

Casey, P.J. 1990. Pulpa y papel. Química y tecnología química. Volumen 1. Editorial Limusa. México. p:187-192.

Cea P.C.E. 2011. Evaluación de fibras celulósicas producidas en planta de celulosa Nueva Aldea. Tesis de maestría. Universidad Federal de Vicosa. Brasil. 156 p.

Conafor (Comisión Nacional Forestal). 1992. Ley Forestal Abrogada 2003. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable,www.conafor.gob.mx/portal/docs/subsecciones/normateca/LGDFS.pdf. México DF, 74 p.

Conafor (Comisión Nacional Forestal). 2012. Programa nacional de dendroenergía forestal 2007-2012; http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/4/1585Programa%20Nacional%20Dendroenergia.pdf. México DF. 12 p.

Estrada, M.M. 2010. Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Tesis de maestría. Universidad de los Andes. Colombia. 146 p.

González, A.U. 1995. El maíz y su conservación. 1a. ed. Trillas. México. 399 p.

Hurter, W.R. 2001. Nonwood plant fiber uses in papermaking. Hurter Consult Incorporated. Extracted from "Agricultural Residues", Tappi. 1997. Non wood fibers short course notes, updated and expanded.

Imba, C.E.G. y C.L.M. Tallana. 2011. Aceptabilidad del bagazo de caña, rastrojo de maíz y tamo de cebada en bloques nutricionales como remplazo del maíz en cobayos de engorde (*Cavia porcellus*) en la granja la Pradera-Chaltura. Tesis. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador. 117 p.

IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). 2007. Biomasa: Cultivos energéticos. Madrid. 56 p.

Juárez, M.M.A. 1993. Estudio anatómico de la madera de tres especies del estado de Jalisco. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara, Guadalajara. 75 p.

Larios, S.P. 1979. Índice de calidad de las pulpas de dos coníferas. Tesis profesional. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 68 p.

Matta, J.E. 1991. Papel periódico con bagazo y/o caña. II. Potencionalidad y manejo de las fibras. ATIPCA. 30(1):45-55.

Marques, S.G. 2008. Deslignificación de pasta *Kraft* de eucalipto con el polioxometalato SiW11 MnIII en un proceso multietapas con peroxidasa versátil de *Pleurotus eryngii*. Universidad de Sevilla, España. 43 p.

Monteoliva, S. 2005. Propiedades de la madera de seis clones de *Salix* y su relación con el pulpado quimimecánico. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Argentina. 219 p.

Núñez, C.E. 2004. Microestructura de la madera. PROCYP. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. 5 p.

Palacios, J.H. 2003. Monografía de apoyo didáctico para el curso de estructuras anatómicas de materiales fibrosos para la maestría de productos fores-

tales. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara, Guadalajara. 175 p.

Pérez, M.M.A., H.R. Sánchez, L.D.J. Palma y G.S. Salgado. 2011. Caracterización química del compostaje de residuos de caña de azúcar en el sureste de México. Interciencia 36(1).

Petroff, G. y D. Normand. 1968. The correlation between the physical and mechanical properties of paper, and dimensional characteristics of papers, from tropical hardwoods. Pulp and paper development in Africa and the ear East. FAO I. 269-287.

Prado, M. 2007. Aprovechamiento de las hojas de maíz para la obtención de nuevas envolturas para tamales. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara, Guadalajara. 76 p.

López C., R. 2008. Productos forestales no maderables: importancia e impacto de su aprovechamiento, Revista Colombia Forestal (11):215-231

Ron, P.J., C.A. Jiménez, V.J. Carrera y L.J. Martín. 2006. Maíces nativos del occidente de México. Revista Científica Scientia 8(1):2-4.

Rutiaga, Q.J.G., H.J. Anzaldo, V.J.J. Vargas y D.R. Sanjuán. 2002. Propiedades de resistencia de una pulpa *Kraft* de pino mezclada con médula del bagazo de caña de azúcar. *Madera y Bosques* 8(2):17-26.

Sanjuán, D.R. 1997. Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel. Editorial Universidad de Guadalajara, Guadalajara. 293 p.

Santiago, A.D.I., Rodríguez de G.N., G. Mogollón. 2002. Potencial papelero de la fibra de sisal (*Agave sisalana*). Revista Forestal Venezolona 46(2): 19-27.

Saval, S. 2012. Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro, BioTecnología 16(2):14-46.

Sagarpa (Secretarçia de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2010. Situación actual del azúcar, http://www.infoaserca.gob.mx/fichas/ficha33-Azucar 201009.pdf. México, D.F. 9 p.

Sener (Secretaría de Energía, Gobierno Federal). 2011. Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en México; http://sener.gob.mx/webSener/res/0/D121122%20Iniciativa%20Renovable%20SENER_Biom asa.pdf. México, DF.35p

Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2011. (http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/forestalsuelos/Anuarios/ANUARIO_2011.pdf. México, D.F. 226 p.

Sidney, G.E. 1991. Mexican mills utilizing bagasse to produce pulp and fiberboard mill. Non-wood Plant Fiber Pulping 19:45-70.

Stergios, A. 2006. Identification of fiber components in packaging grades papers. IAWA Journal. 27(2):105-172.

Tamarit, U.J.C. 1996. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. *Madera y Bosques* 2(2):29-41.

Tappi Standards (Technical Association of the Pulp and Paper Industry). 1997. Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel de los Estados Unidos. Atlanta.

Tapia-Tapia, E. del C., R. Reyes-Chilpa. 2008. Productos forestales no maderables en México: Aspectos económicos para el desarrollo sustentable. *Madera y Bosques* 14(3):95-112.

Triana. O. y M. Leonard, 1990, Atlas del bagazo de la caña de azúcar. Editorial Cuba 9. GEPLACEA. PNUD.ICIDICA. p:39-43.

Vega B.J., M.K. Delgado, B.M. Sibaja y A.P. Alvarado. 2008. Materiales poliméricos compuestos obtenidos a partir de los residuos generados por la agroindustria de la caña de azúcar. Una alternativa adicional. II. Revista iberoamericana de polímeros 9(4):389-406.

Wise, L.E., M. Marphy y A. d'Adieco. 1946. Chlorite holocellulose, its fractionation and bearing on summative wood analysis and studies on the hemicelluloses. Paper Trade Journal 122(2):35-43.

Manuscrito recibido el 7 de septiembre de 2011.
Aceptado el 19 de enero de 2012.

Este documento se debe citar como:
Prado-Martínez, M., J. Anzaldo-Hernández, B. Becerra-Aguilar, H. Palacios-Juárez, J.J. Vargas-Radillo y Maite Rentería Urquiza. 2012. Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera y Bosques* 18(3):37-51.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Características tecnológicas de la madera de dos especies de Costa Grande, Guerrero, México

Technological characteristics of two wood species from Costa Grande, Guerrero, México

Elizandro Pineda-Herrera[1], Carmen de la Paz Pérez-Olvera[2], Raymundo Dávalos-Sotelo[3] y Juan Ignacio Valdez-Hernández[4]

RESUMEN

Se describen las características anatómicas, físicas, mecánicas y tiempo de secado al aire libre de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y *Hura polyandra* Baill., recolectadas en una selva mediana subcaducifolia de Zihuatanejo de Azueta, Guerrero, México. Para la descripción anatómica se utilizaron tablillas de 15 cm x 7 cm x 1 cm y preparaciones fijas de cortes de 20 mm de grosor, ambas en secciones transversales, tangenciales y radiales y preparaciones de material disociado. Para los ensayos físicos y mecánicos se emplearon probetas libres de defectos de diferentes dimensiones a un contenido de humedad de 12%. De cada característica se hizo un análisis estadístico y se clasificaron de acuerdo con la media. Para el secado al aire libre se acomodaron tablones y prismas en una pila. Las especies presentan vasos de diámetro mediano, radios uniseriados, extremadamente bajos y fibras de longitud mediana de diámetro fino. Presentan diferencias en el número de poros y la longitud de los vasos, en el número y anchura de los radios, en el grosor de la pared de las fibras y en la anchura de los anillos de crecimiento. En las propiedades físicas, difieren en la densidad, en su coeficiente de anisotropía y en el punto de saturación de la fibra. Las contracciones son bajas, excepto la radial de *E. cyclocarpum* que es muy baja; esta especie es poco estable y *H. polyandra* es muy estable. Los valores de las propiedades mecánicas y el tiempo de secado son diferentes entre ambas especies.

PALABRAS CLAVE:
Enterolobium cyclocarpum, Hura polyandra, selva mediana subcaducifolia, madera secada.

ABSTRACT

The anatomical, physical, and mechanical features, and drying time of wood from *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. (Parota, Mimosoideae, Leguminosae) and *Hura polyandra* Baill. (Habillo, Euphorbioideae, Euphorbiaceae) collected in a semideciduous forest of Zihuatanejo de Azueta, Guerrero, Mexico, are described. For the anatomical description, pieces of 15 cm x 7 cm x 1 cm and slides 20 mm-thick, in transverse cross-section, tangential and radial directions and preparations of dissociated material were used. For the physical and mechanical tests small clear specimens of various dimensions, conditioned to a moisture content of 12%, were utilized. For each feature measured, univariate statistical analyses were performed and results were classified according to the mean. For air drying time tests, boards and prisms were placed in a stack with spacers between them. The species have medium diameter vessels, extremely low uniseriate rays, and medium length fibers

1 Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud. C. e.: elherrera2001@yahoo.com.mx
1,2 Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa.
3 Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, Veracruz.
4 Colegio de Postgraduados, Montecillo. Estado de México.

of fine diameter. They differ in the number of pores and the length of the vessels, the number and width of rays, on the wall thickness of fibers and the width of the growth rings. For the physical properties, shrinkage values are low, except the radial shrinkage for *E. cyclocarpum*, which is very low. This species is dimensionally not stable whereas *H. polyandra* is highly stable. There are significant differences between species in the mechanical valules and the drying time.

KEYWORDS:
Enterolobium cyclocarpum, Hura polyandra, deciduous tropical forest, air dried wood.

INTRODUCCIÓN

Las selvas secas en México cubren alrededor de 11,26% del territorio nacional, dividiéndose en: selvas bajas caducifolias, selvas bajas subcaducifolias, selvas medianas caducifolias y selvas medianas subcaducifolias (INEGI, 2005). Se distribuyen desde Sonora hasta Chiapas, en la Vertiente del Golfo en Tamaulipas, San Luis Potosí, porción central de Veracruz y norte de la Península de Yucatán. Están ampliamente representadas en la Cuenca del Balsas (Pennington y Sarukhán, 2005), de forma general se caracterizan por presentar un periodo de secas marcado de noviembre a mayo.

La región de Guerrero, denominada Costa Grande, es la de mayor extensión estatal (14711 km^2) y está conformada por siete municipios: Atoyac de Álvarez, Coahuayutla de José María Izazaga, Coyuca de Benítez, La Unión de Isidoro Montes de Oca, Tecpan de Galeana, Petatlán y Zihuatanejo de Azueta, en la cual se encuentran altitudinalmente selvas bajas caducifolias (0 m a 380 m) y selvas medianas subcaducifolias (380 m a 650 m) (Pineda *et al.,* 2012). Entre las especies arbóreas representativas de la región están: *Enterolobium cyclocarpum* (parota) y *Hura polyandra* (habillo).

Rodríguez (2009) menciona que en el municipio de La Unión de Isidoro Montes de Oca, *E. cyclocarpum* tiene una participación de 16% en la industria del mueble, pero la madera se obtiene de forma clandestina. Para *H. polyandra* no se conocen usos regionales. Morán *et al.* (2008), en su estudio de algunos ejidos de Costa Grande, resaltan la necesidad de generar información que apoye a los tomadores de decisiones del sector forestal, así como difundir las ventajas socioambientales de manejar las selvas y los bosques de la región.

La madera de parota en otros estados es valorada para: artesanías, canoas, carpintería, carretas, construcciones rurales, chapa, decoración de interiores, duela, ebanistería, embarcaciones, lambrín, madera aserrada, muebles, paneles, postes, ruedas de carretas, triplay y utensilios de cocina (Robles, 1978; Guridi, 1980; Pennington y Sarukhán, 2005; Silva, 2008; Román *et al.,* 2011).

La madera de habillo es valorada para artesanías, carpintería, construcciones rurales, chapas, embalajes, mangos para herramientas, muebles y triplay (Pennington y Sarukhán, 2005; Silva, 2008; Román *et al.*, 2011).

Estos usos están sustentados en estudios anatómicos, físicos y mecánicos de la madera de ambas especies. *Enterolobium cyclocarpum* se ha estudiado en ejemplares de selvas húmedas de la vertiente del Golfo por Cárdenas (1971); Robles (1978), Corral (1985) y González *et al.* (2004). De selvas secas de la vertiente del Pacífico se conoce la investigación de Guridi (1980), quien describe las características macroscópicas de la madera.

Zavala (2000), en su estudio sobre especies tropicales, presenta el programa

de secado de *E. cyclocarpum*, considerándola con buenos resultados. Silva (2008) la considera moderadamente difícil de secar al aire libre ya que presenta deformaciones importantes; el mismo autor indica que *Hura polyandra* es difícil de secar, tanto al aire libre como en estufa. La importancia del secado es que permite que la humedad de la madera esté en equilibrio con la humedad del ambiente, para que no haya problemas durante su servicio.

OBJETIVO

Determinar las características anatómicas, físicas, mecánicas y tiempo de secado al aire libre de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* (parota) y *Hura polyandra* (habillo) de una selva mediana subcaducifolia de Costa Grande, Guerrero.

METODOLOGÍA

El material de estudio se recolectó en una selva mediana subcaducifolia de la localidad Los Varillos (17° 53' 58" N, 101° 26' 68" O), perteneciente al ejido La Laja y anexos, del municipio de Zihuatanejo de Azueta, Costa Grande, Guerrero, a una altura de 440 msnm (Fig. 1). El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw1) (INEGI, 2005) con una precipitación anual entre 1100 mm y 1500 mm y temperatura promedio de 28 °C (SMN, 2012). Con respecto a la geomorfología de Los Varillos, se trata de una meseta rodeada por laderas con pendientes pronunciadas y lomeríos moderados. Las rocas son ígneas extrusivas y metamórficas del Cenozoico superior. Los suelos, de origen volcánico, son: Cambisoles, Luvisoles, Leptosoles y Regosoles (INEGI, 2009).

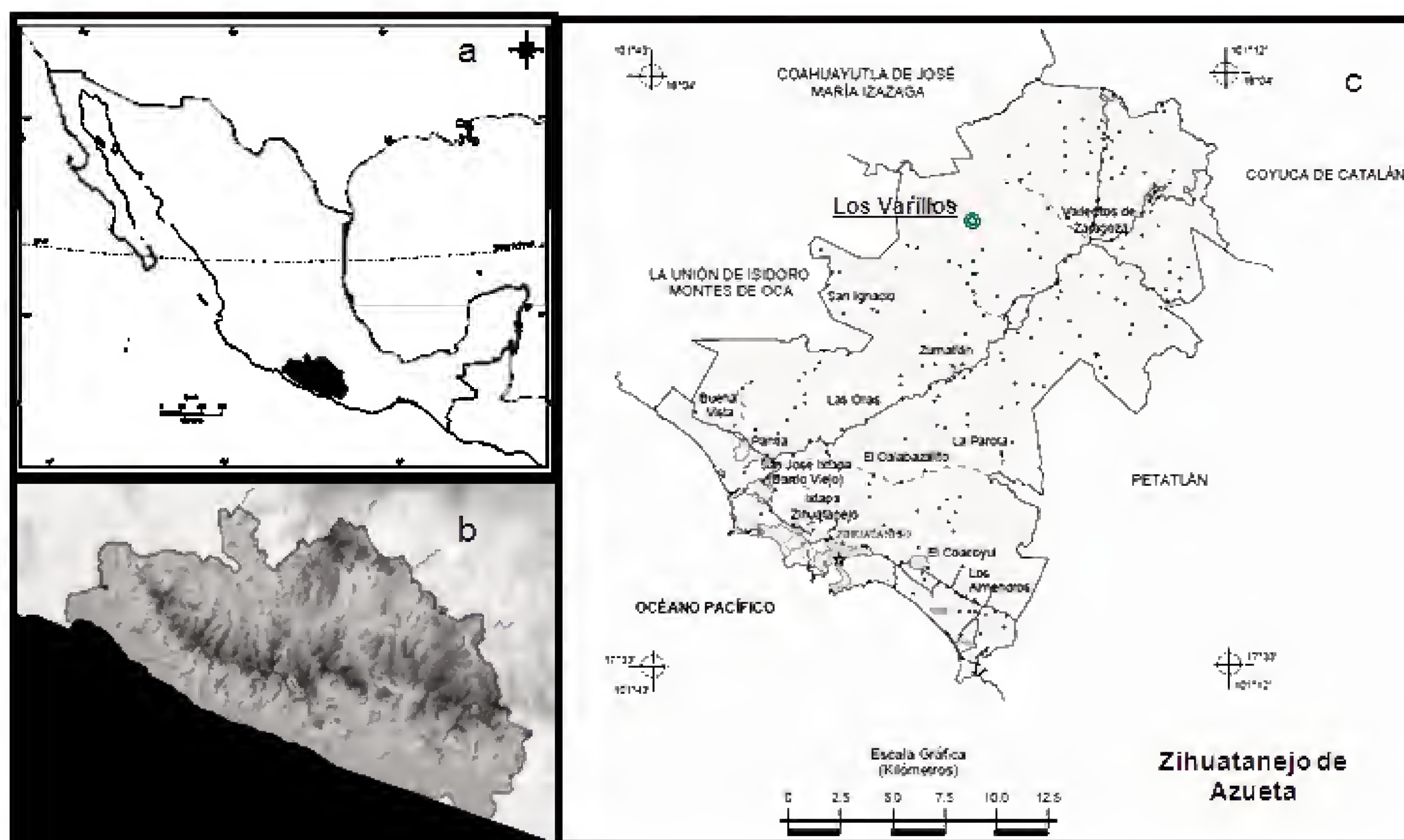


Figura 1. Zona de estudio *a.* México. *b.* Estado de Guerrero. *c.* Los Varillos.

Estas selvas se caracterizan porque la temporada seca puede durar de 7 a 8 meses; fisonómicamente la altura de los árboles va de 7 m a 25 m y en promedio es de 15 m. Algunas de las especies encontradas son: *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, *Hura polyandra* Baill., *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC., *Licania arborea* Seem. y *Bursera instabilis* McVaugh & Rzed.

Se recolectaron dos árboles por especie con una altura total aproximada de 8 m y de 30 cm a 35 cm de diámetro cada uno. De cada árbol se obtuvieron cuatro trozas de base a copa, la primera de 1,30 m se utilizó para el estudio anatómico y las otras tres de 1,20 m para los ensayos físicos, mecánicos y de secado (Fig. 2).

De las trozas para anatomía se obtuvieron tablillas transversales, tangenciales y radiales de 15 cm x 7 cm x 1 cm para describir las características macroscópicas de acuerdo con Tortorelli (1956), para el color se utilizaron las tablas de Munsell (1990). Las tablillas transversales se obtuvieron de cuatro rodajas de 1 cm de grosor cortadas a la altura de 1,26 m. Para el estudio microscópico se cortaron dos rodajas a la altura de 1,30 m, de las que se obtuvieron cubos que se ablandaron a ebullición en agua destilada por 24 h para *E. cyclocarpum* y 42 hrs para *H. polyandra*. De los cubos se obtuvieron cortes transversales, tangenciales y radiales de 20 µm de grosor en un micrótomo de deslizamiento en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa.

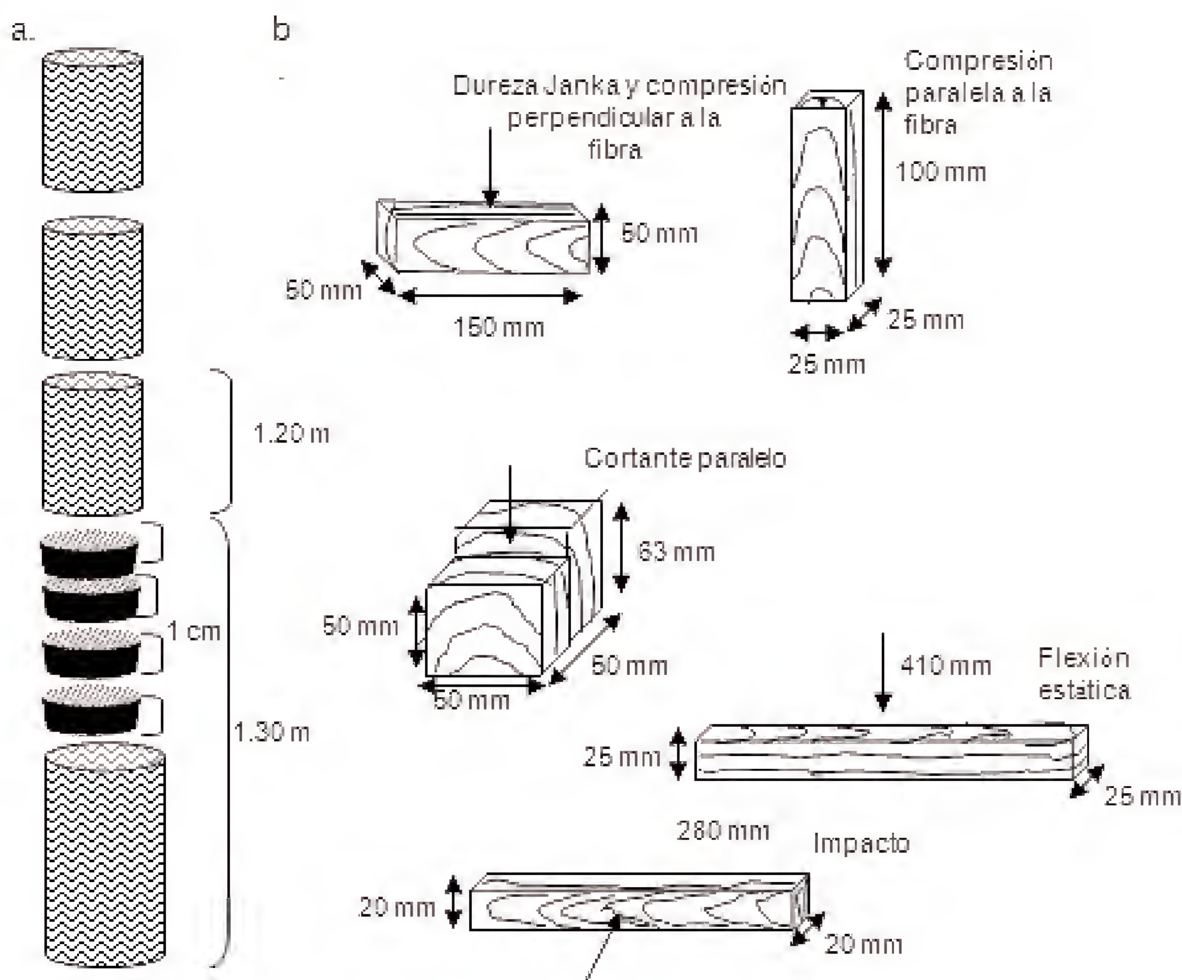


Figura 2. Material de estudio. *a.* Trozas y rodajas para anatomía, pruebas físicas, mecánicas y tiempo de secado. *b.* Probetas para ensayos mecánicos.

Los cortes se tiñeron con fucsina básica al 0,05% durante 30 segundos y después en azul astra al 0,5% durante dos minutos. Se deshidrataron en una serie gradual de alcoholes del 50%, 70%, 85%, 96% y 100%. Después de deshidratados se les puso una gota de aceite de clavo por dos minutos para mayor contraste, posteriormente se colocaron en una mezcla de clavo con xilol, se pasaron por xilol y se montaron con resina sintética (Sandoval, 2005).

De los mismos cubos se cortaron pequeñas astillas para obtener material disociado con una mezcla de ácido acético, ácido láctico, ácido nítrico y glicerina, se tiñeron con Pardo de Bismarck y se montaron con gelatina glicerinada de acuerdo a Johansen (1940). Se realizaron 25 mediciones por carácter y por árbol, los que se sometieron a un análisis estadístico y se clasificaron con base en la media de acuerdo con Chattaway (1932) y con IAWA Committee (1937, 1939, 1989) (tablas 1 y 2). Los elementos no mensurables se describieron con base en IAWA (1964) y los cristales de acuerdo con Chattaway (1955).

Las trozas para el material destinado a ensayos físicos y mecánicos, se trasladaron a las instalaciones del Instituto de Ecología, A.C. en Xalapa, Ver. De dichas trozas se cortaron tablones tangenciales y radiales de 0,03 m x 0,12 m x 1,20 m y prismas de 0,06 m x 0,06 m x 1,20 m, para medir el tiempo de secado y posteriormente elaborar los especímenes para los ensayos físicos y mecánicos. Para el secado al aire libre, a un contenido de humedad de 16%, que es el promedio del obtenido en las condiciones de humedad relativa y temperatura del ambiente en la región centro del Golfo de México; para el periodo de elaboración de las probetas se acomodaron los tablones y los prismas en una pila elevada sobre el piso de 1,35 m de largo x 1,20 m de ancho x 1,50 m de altura, con separadores entre las capas de madera permitiendo la circulación libre del aire en torno a cada una y se cubrieron para evitar que estuvieran directamente expuestas al sol y a la lluvia (Fig. 3).

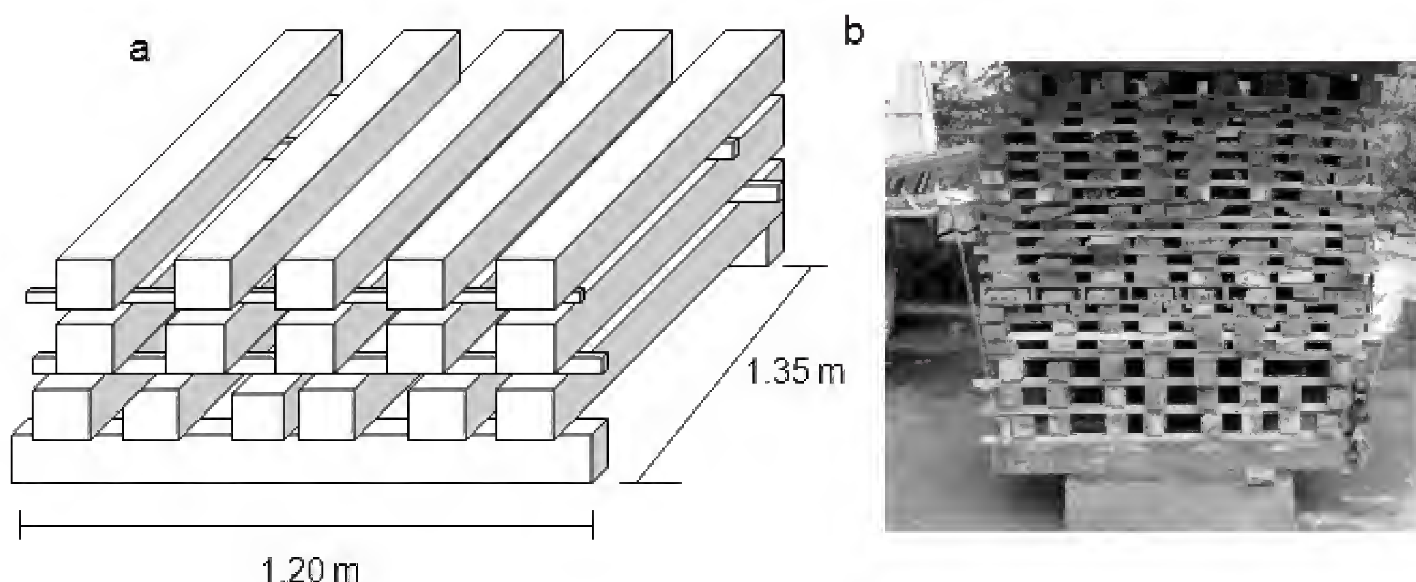


Figura 3. Arreglo de prismas y tablas en la pila de secado al aire libre. *a.* Dimensiones de la pila en el plano horizontal. *b.* Vista frontal.

Tabla 1. Características anatómicas mensurables de E. cyclocarpum.

VASOS		
Poros		Elementos vasculares
Núm. / mm^2	Diámetro tangencial, µm	Longitud, µm
muy pocos X = 1 Mín = 1 Máx = 4	mediano X = 141 Mín = 60 Máx = 210	muy cortos X = 220 Mín = 80 Máx = 400

RADIOS			
Núm. de series	Núm. / mm	Altura, µm	Anchura, µm
uniseriados X = 1 Mín = 1 Máx = 2	pocos X = 4 Mín = 2 Máx = 6	extremadamente bajos X = 129 Mín = 60 Máx = 203	extremadamente finos X = 14 Mín = 10 Máx = 19

FIBRAS			ANILLOS DE CRECIMIENTO, mm
Longitud, µm	Diámetro, µm	Grosor, µm	
mediana X = 1067 Mín = 750 Máx = 1775	fino X = 13 Mín = 9 Máx = 18	delgado X = 3 Mín = 2 Máx = 3	conspicuos 10 a 25

Tabla 2. Características anatómicas mensurables de *H. polyandra.*

<table>
<tr><th colspan="12">VASOS</th></tr>
<tr><th colspan="8">Poros</th><th colspan="4">Elementos vasculares</th></tr>
<tr><th colspan="4">No. / mm²</th><th colspan="4">Diámetro tangencial, µm</th><th colspan="4">Longitud, µm</th></tr>
<tr><td colspan="4">pocos
X = 4
Mín = 1
Máx = 6</td><td colspan="4">mediano
X = 122
Mín= 60
Máx = 170</td><td colspan="4">medianos
X = 413
Mín = 200
Máx = 600</td></tr>
<tr><th colspan="12">RADIOS</th></tr>
<tr><th colspan="3">No. de series</th><th colspan="3">No. / mm</th><th colspan="3">Altura, µm</th><th colspan="3">Anchura, µm</th></tr>
<tr><td colspan="3">uniseriados
X = 1
Mín = 1
Máx = 2</td><td colspan="3">moderadamente numerosos
X = 5
Mín = 3
Máx = 9</td><td colspan="3">extremadamente bajos
X = 192
Mín = 102
Máx = 291</td><td colspan="3">muy finos
X = 20
Mín = 14
Máx = 32</td></tr>
<tr><th colspan="9">FIBRAS</th><th colspan="3" rowspan="2">ANILLOS DE CRECIMIENTO, mm</th></tr>
<tr><th colspan="3">Longitud, µm</th><th colspan="3">Diámetro, µm</th><th colspan="3">Grosor, µm</th></tr>
<tr><td colspan="3">mediana
X = 940
Mín = 650
Máx = 1325</td><td colspan="3">fino
X = 9
Mín = 7
Máx = 13</td><td colspan="3">grueso
X = 4
Mín = 2
Máx = 4</td><td colspan="3">Conspicuos
2 a 15</td></tr>
</table>

De los tablones se obtuvieron las probetas para los ensayos físicos y de los prismas las probetas para determinar las propiedades mecánicas, basados en la norma ASTM (2005) (Fig. 2). Después del proceso de secado al aire libre, las tablas y prismas se acondicionaron en una cámara con condiciones controladas hasta alcanzar un contenido de humedad cercano al 12%. De cada probeta se obtuvieron muestras para la determinación de la densidad básica.

A cada propiedad se le hizo un análisis estadístico univariado, las propiedades físicas se clasificaron de acuerdo con la media con base en Echenique-Manrique *et al.* (1975) y Sallenave (1955) para el punto de saturación de la fibra; las propiedades mecánicas de acuerdo con Dávalos y Bárcenas (1999) (tablas 3 y 4). Las pruebas se hicieron en el Laboratorio de Investigación y Certificación de Productos Maderables del Instituto de Ecología, A.C., en una máquina universal de 250 kN de capacidad. Las pruebas de impacto se realizaron en una máquina para ensayos de tenacidad modelo FPL. La clasificación para tiempo de secado se desarrolló específicamente para este

Tabla 3. Características físicas de *E. cyclocarpum y H. polyandra.*

	E. cyclocarpum		*H. polyandra*	
Densidad básica, PA/VV	Muy liviana	0,29	Moderadamente pesada	0,48
Contracción tangencial, %	Baja	4,63	Baja	4,89
Contracción radial, %	Muy baja	1,83	Baja	2,97
Contracción volumétrica	Muy baja	6,46	Baja	7,86
Coeficiente de anisotropía	Poco estable	2,52	Muy estable	1,65
Punto de saturación de la fibra, %	Medio	33,4	Bajo	21,4

Tabla 4. Características mecánicas de *E. cyclocarpum* y *H. polyandra.**

Propiedad mecánica	*E. cyclocarpum*		*H. polyandra*	
Dureza Janka lateral, kN	Suave	2,28	Muy dura	4,40
Dureza Janka longitudinal, kN	Suave	3,04	Muy dura	6,17
Módulo de ruptura en flexión (MOR), MPa	Flexible	41,4	Resistente	76,8
Módulo de elasticidad en flexión (MOE), GPa	Muy flexible	3,83	Moderadamente flexible	8,08
Esfuerzo máximo en compresión paralela, MPa	Poco resistente	26,1	Resistente	44,1
Módulo de elasticidad en compresión paralela (E), GPa	Muy flexible	3,93	Moderadamente flexible	8,70
Esfuerzo en el límite de proporcionalidad en compresión perpendicular, MPa	Poco resistente	3,47	Resistente	7,21
Esfuerzo máximo en cortante paralela,MPa	Moderadamente resistente	7,11	Muy resistente	11,6
Impacto (Tenacidad), J/m3	Poco resiliente	0,222	Poco resiliente	0,264

*Valores ajustados al 12% de Contenido de humedad (ASTM, 1998)

trabajo, a partir de los datos registrados de variación diaria de contenido de humedad en proporción al contenido de humedad en equilibrio para el periodo en el que se hicieron los ensayos.

Las características botánicas, distribución geográfica y nombres comunes se consultaron en Pennington y Sarukhán (2005), a excepción de las medidas dasométricas y la distribución altitudinal que se obtuvieron directamente en la zona de estudio (Pineda *et al.,* 2012). Las muestras para anatomía se depositaron en la Xiloteca UAMIZ y los ejemplares botánicos se registraron en el Herbario Metropolitano UAMIZ Dr. Ramón Riba y Nava (Tabla 5).

RESULTADOS

Características botánicas, anatómicas, físicas, mecánicas y tiempo de secado de la madera

***Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. (Lámina 1, figs. a-f)**

Características botánicas

Familia: Leguminosae Subfamilia: Mimosoideae.

Nombres comunes: Parota, guanacastle, orejón.

Distribución geográfica: En la vertiente del Pacífico, desde Sinaloa hasta la depresión Central de Chiapas; incluyendo la Cuenca del Balsas. En la vertiente del Golfo, desde el Sur de Tamaulipas hasta el Norte de Yucatán.

Distribución altitudinal: 0 m a 800 msnm.

Árbol hermafrodita, de 7 m a 25 m de altura y diámetros de 0,3 m a 1 m (DAP), corteza fisurada de color castaño rojizo (HUE 2.5YR 4/6), con numerosas lenticelas. Hojas compuestas, de hasta 40 cm de largo, bippinadas, con numerosos foliolos de 10 mm a 12 mm de largo. Flores en cabezuelas, blancas, 1,5 cm a 2 cm de diámetro. Fruto en vaina lignificada, en forma de media luna, de 7 cm a 12 cm de diámetro. Semillas ovoides y planas, de 1,5 cm a 2,3 cm de diámetro.

Características anatómicas

Macroscópicas (Lámina 1, figs. g-i)
La madera presenta diferencia de color entre albura y duramen, la albura es blanca (HUE 2.5Y8/2) y el duramen es castaño claro (HUE 7.5YR 6/4), sin olor ni sabor característicos, brillo mediano, veteado suave, textura fina e hilo oblicuo. Anillos de crecimiento conspicuos.

Tabla 5. Registro de las especies

Especie	Familia subfamilia	Nombres comunes	Registros UAMIZ Xiloteca	Registros UAMIZ Herbario
E. cyclocarpum	Leguminosae Mimosoideae	Parota, guanacastle, orejón	M-280 73423	M-281 73424
H. polyandra	Euphorbiaceae Euphorbioideae	Habillo, jabilla	M-282 73427	M-283 73428



Lámina 1. *Enterolobium cyclocarpum*. *a.* árbol. *b.* corteza. *c.* hoja. *d.* fruto. *e.* semillas. *f.* flor. Tablillas: *g.* transversal. *h.* tangencial. *i.* radial. Cortes: *j.* transversal (5x). *k.* tangencial (10x). *l.* radial (10x).

Microscópicas (Lámina 1, figs. j-l; Lámina 3, figs. a-c; Tabla 1)

La madera es de porosidad difusa, los poros son muy pocos, de diámetro tangencial mediano, la mayoría solitarios, algunos múltiples de 2 a 4. Los elementos vasculares son muy cortos, sus paredes tienen puntuaciones areoladas alternas, ovales, ornamentadas y platina de perforación simple. Algunos presentan gomas. El parénquima axial es paratraqueal vasicéntrico, de 6 a 15 células de anchura. Algunas células parenquimáticas presentan cristales prismáticos dentro de cámaras. Los radios son homogéneos, uniseriados, pocos, extremadamente bajos y extremadamente finos. Las fibras son de longitud mediana, diámetro fino y pared delgada. Los anillos de crecimiento miden desde 10 mm hasta 25 mm de ancho, marcados por 2 a 4 hileras de fibras.

Características físicas (Tabla 3)

La madera es muy liviana, de contracción tangencial y volumétrica bajas y contracción radial muy baja, poco estable y salida de agua libre rápida.

Características mecánicas (Tabla 4)

La madera es suave, flexible, poco resistente a la compresión, moderadamente resistente al cortante y poco tenaz.

Características de secado al aire libre (Tabla 6)

Los resultados de la prueba de secado al aire libre para las dos especies estudiadas se muestran en la figura 4.

La madera es de secado rápido (tiempo de secado 25 días para alcanzar el CHE).

Hura polyandra Baill. (Lámina 2, figs. a-g)

Características botánicas

Familia: Euphorbiaceae. Subfamilia: Euphorbioideae.

Nombres comunes: Habillo, jabilla, haba de San Ignacio.

Tabla 6. Características de tiempo de secado de *E. Cyclocarpum* y *H. polyandra*.

	E. cyclocarpum	*H. polyandra*
Contenido de humedad inicial, %	154	70
Contenido de humedad final, %	16	16
Tiempo de secado, días	25 (rápido)	35 (lento)

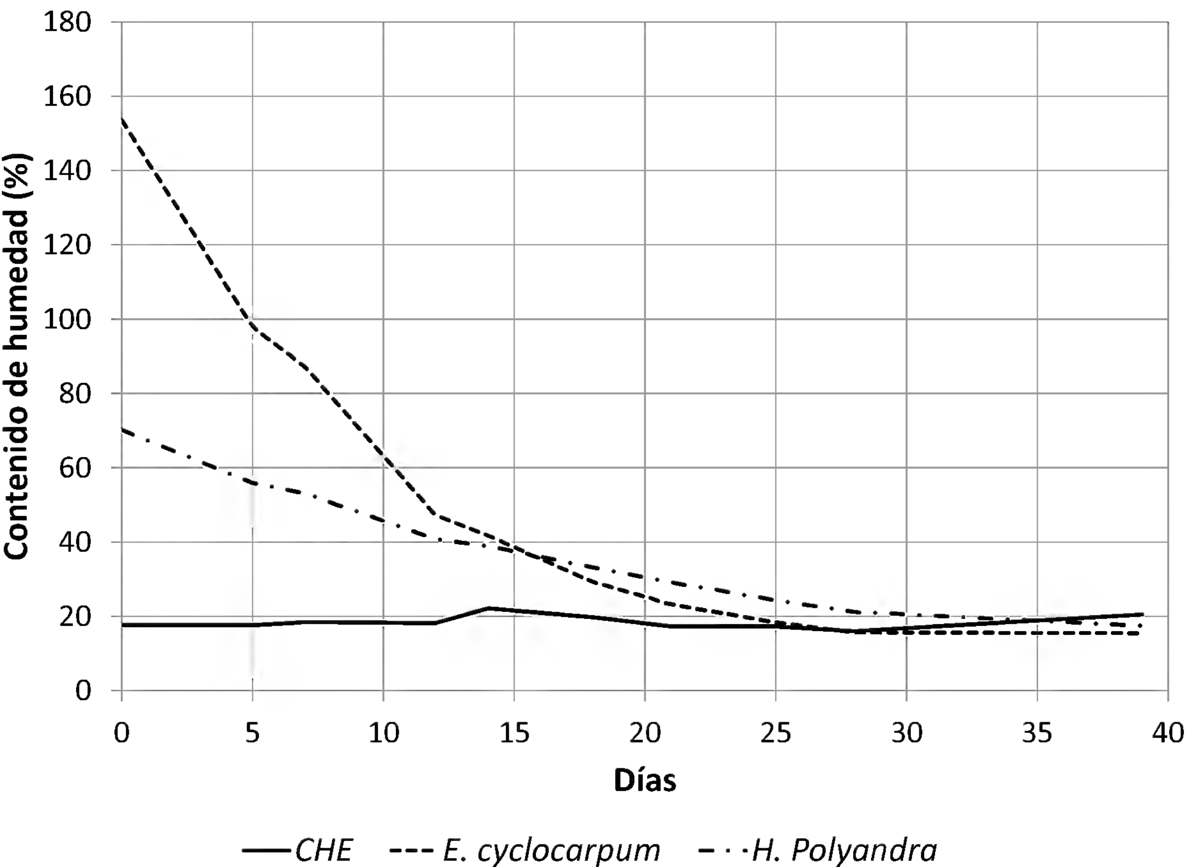


Figura 4. Curvas de secado para especies estudiadas

Distribución geográfica: En la vertiente del Pacífico, desde Sinaloa hasta la depresión central y norte de Chiapas, incluyendo la Cuenca del Balsas. En la vertiente del Golfo desde el sureste de San Luis Potosí hasta el norte de Quintana Roo.

Distribución altitudinal: 150 m a 1000 msnm

Árbol monoico, de 7 m a 25 m de altura y diámetros de 0,30 m a 1 m (DAP), corteza lisa de color castaño claro (HUE 7.5 YR 6/3) con numerosas espinas. Hojas simples, de hasta 17 cm de largo, ovadas a orbiculares. Flores masculinas en espiga de 12 cm a 16 cm de largo, las femeninas solitarias en pedúnculos de 6 cm a 7 cm de largo. Fruto en cápsula multivalvada y lignificada de 5 cm x 10 cm de diámetro, cubierta con abundantes lenticelas. Semillas circulares y planas, de 3 cm de diámetro.

Características anatómicas

Macroscópicas (Lámina 2, figs. h-j)
La madera presenta diferencia de color entre albura y duramen, la albura es blanca (HUE 2.5Y 8/2) y el duramen es castaño claro (HUE7.5YR 6/3), sin olor ni sabor característicos, brillo mediano, veteado suave, textura fina e hilo recto. Anillos de crecimiento conspicuos.



Lámina 2. *Hura polyandra*. *a.* árbol. *b.* corteza. *c.* hoja. *d.* flor masculina. *e.* flor femenina. *f.* fruto. *g.* semillas. Tablillas: *h.* transversal. *i.* tangencial. *j.* radial. Cortes: *k.* transversal (5x). *l.* tangencial (10x). *m.* radial (10x).

Microscópicas (Lámina 2, figs. k-m; Lámina 3, figs. d-f; Tabla 2)

La madera es de porosidad difusa, los poros son pocos, de diámetro tangencial mediano, la mayoría múltiples de 4 a 6, algunos solitarios. Los elementos vasculares son medianos, sus paredes con puntuaciones areoladas alternas, ovales y platina de perforación simple. Algunos presentan tílides. El parénquima axial es apotraqueal en bandas, de una hilera de células de ancho. Algunas células parenquimáticas presentan cristales prismáticos dentro de cámaras. Los radios son homogéneos, uniseriados, moderadamente numerosos, extremadamente bajos y muy finos. Las fibras son de longitud mediana, diámetro fino y pared gruesa. Los anillos de crecimiento miden de 2 mm a 15 mm de ancho, marcados por 3 a 4 hileras de fibras.

Características físicas (Tabla 3)

La madera es moderadamente pesada, de contracciones bajas, muy estable y salida de agua libre lenta.

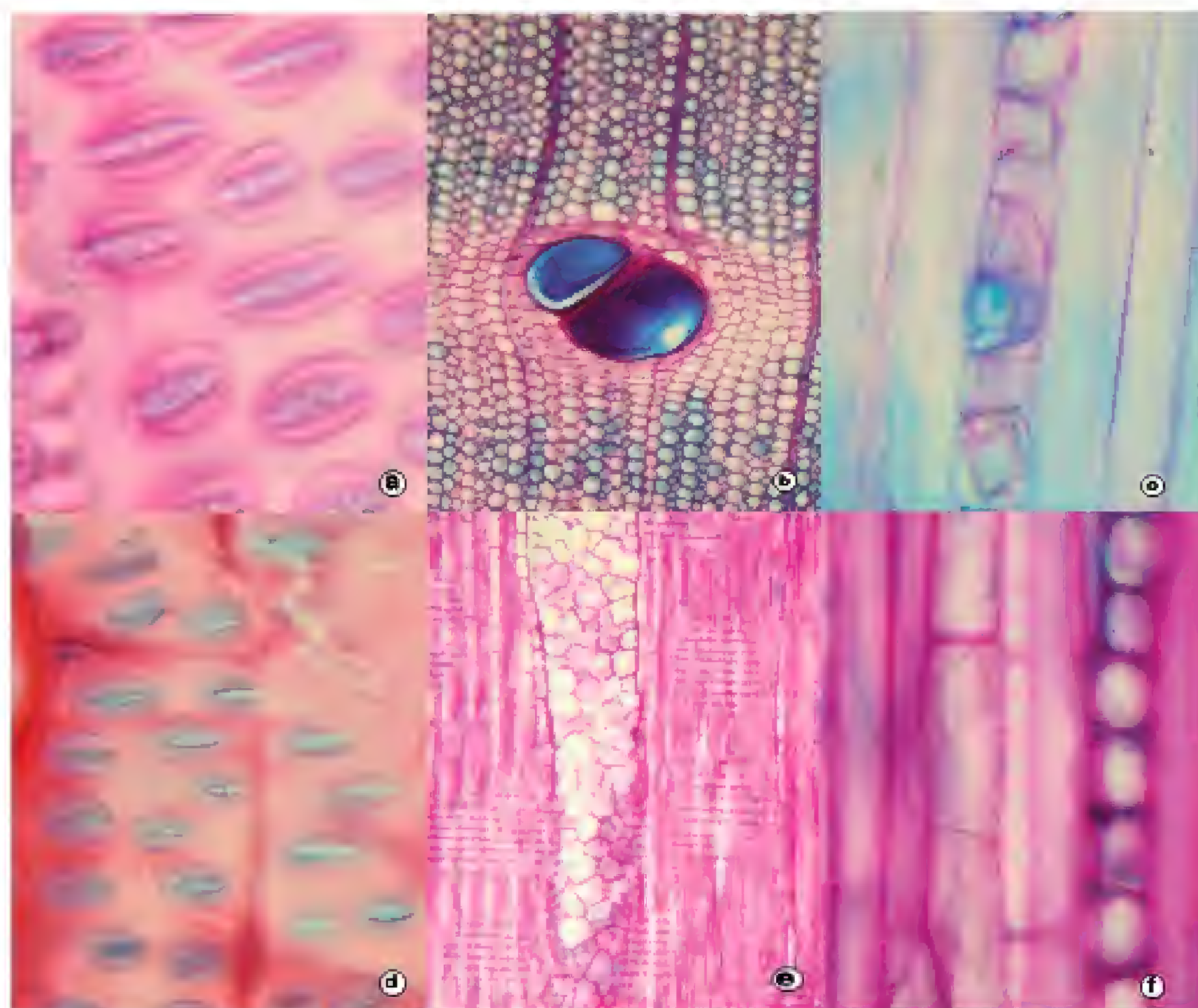


Lámina 3. Puntuaciones y contenidos celulares de las especies. *a-c. Enterolobium cyclocarpum*. *a.* Puntuaciones areoladas ornamentadas en vasos (100x). *b.* Gomas en vasos (20x). *c.* Cristales prismáticos en parénquima (40x). *d-f. Hura polyandra*. *d.* Puntuaciones areoladas no ornamentadas en vasos (100x). *e.* Tílides (10x). *f.* Cristales prismáticos en parénquima (40x).

Características mecánicas (Tabla 4)

La madera es muy dura, rígida, resistente a la compresión, muy resistente al cortante paralelo y de tenacidad media.

Características de secado (Tabla 6)

La curva de secado correspondiente a esta especie se muestra en la figura 4.

La madera es de secado lento (tiempo de secado 35 días para alcanzar el CHE).

DISCUSIÓN

La madera de las dos especies comparte características en cuanto a la diferencia en tonalidad entre albura y duramen; la albura es blanca y el duramen es castaño claro en ambas, no tienen olor ni sabor característicos, su brillo es mediano, el veteado suave y la textura fina. En *Enterolobium cyclocarpum* el hilo es oblicuo, los anillos están marcados por 2 a 4 hileras de fibras y en *Hura polyandra* el hilo es recto y los anillos están marcados por 2 a 3 hileras de fibras.

En las características microscópicas coinciden en la porosidad difusa, con vasos de diámetro mediano, con puntuaciones areoladas alternas ovales y platina de perforación simple, el parénquima axial con cristales prismáticos, los radios son uniseriados, homogéneos, extremadamente bajos y las fibras de longitud mediana y diámetro fino.

Por otro lado presentan diferencias en su anatomía. En *E. cyclocarpum* los poros son muy pocos, la mayoría solitarios y unos cuantos múltiples. Los elementos vasculares son muy cortos, con puntuaciones ornamentadas, algunos con gomas. El parénquima axial es paratraqueal vasicéntrico. Los radios pocos, extremadamente finos. Las fibras de pared delgada. Los anillos de crecimiento de 10 mm a 25 mm de ancho.

En *H. polyandra* los poros son pocos, la mayoría múltiples y algunos solitarios. Los elementos vasculares son medianos, con puntuaciones no ornamentadas, algunos con tílides. El parénquima es axial apotraqueal en bandas, de una hilera de células de ancho. Los radios son moderadamente numerosos, muy finos. Las fibras tienen pared gruesa. Los anillos de crecimiento son de 2 mm a 15 mm de ancho.

En las propiedades físicas, mecánicas y tiempo de secado, únicamente coinciden en las contracciones tangenciales que son bajas y en las demás propiedades son diferentes. *E. cyclocarpum* es una madera muy liviana, de contracción tangencial baja y contracciones radial y volumétrica muy bajas, poco estable, con punto de saturación de la fibra medio. *H. polyandra* es una madera moderadamente pesada, cuyas contracciones son bajas, estable dimensionalmente y punto de saturación menor que *E. cyclocarpum*. Es suave, flexible, poco resistente a la compresión, moderadamente resistente al cortante y poco resistente al impacto. El tiempo de secado es diferente para cada una.

Estas diferencias de comportamiento se explican en gran medida por tratarse de especies con densidades diferentes, que redundan en repuesta a acciones mecánicas diferentes: mayores valores para la madera más densa (Dávalos y Bárcenas, 1999). La misma respuesta se presenta, en general, para las propiedades físicas: las contracciones son mayores para la madera más densa, conforme a la teoría que indica que las contracciones son proporcionales a la densidad (Panshin y de Zeew, 1970) y en consecuencia al grosor de la pared

celular. En cuanto a su comparación con especies parecidas de otras regiones o países, se encontró que *Hura crepitans*, especie sudamericana con densidad básica promedio de 0,42 tiene una razón Contracción tangencial/Contracción radial (CT/CT) promedio (coeficiente de anisotropía) de 1,6 (Keenan y Tejada, 1987), comparable a la obtenida en este estudio para *H. polyandra* (1,65). Echenique-Manrique (1970) señala que los valores de *H. crepitans* pueden compararse directamente con *H. polyandra* porque es difícil distinguir entre la madera de ambas especies, salvo por ciertos caracteres botánicos. En el caso de *E. cyclocarpum*, Robles (1978) determinó un coeficiente de anisotropía de 2,71, comparable con el registrado aquí de 2,52. Estos datos son muy parecidos a valores obtenidos en especies tropicales de Puerto Rico de densidad similar a *E. cyclocarpum* (promedio 0,28) para las que se calcularon valores de CT/CR promedio de 2,27 (Longwood, 1961).

E. cyclocarpum coincide en la diferencia entre albura y duramen con anteriores trabajos (Cárdenas, 1971; Corral, 1985; Silva, 2008), es diferente en el veteado, así como en la textura, hilo y la presencia de anillos de crecimiento. Estas diferencias son debidas al tamaño de los elementos celulares como el diámetro de los poros, la altura corta, la anchura fina de los radios que producen una textura fina. Por otro lado, el hilo es oblicuo, de manera semejante a lo comúnmente encontrado en especies tropicales (Silva, 2008).

En lo que respecta a las propiedades físicas, es similar a la densidad de ejemplares de las selvas de Campeche (0,29) (Robles, 1978) y menor a algunas de Yucatán (0,37) (Gonzalez *et al.*, 2004). La densidad de *H. polyandra* (0,48) fue similar a lo mencionado por Echenique-Manrique (1970) (0,36 -0,44) y también es semejante a los datos del trabajo de Silva (2008) (0,47-0,68). Tales valores están en función de las dimensiones de sus elementos celulares y se explican principalmente por el grosor de la pared de sus fibras (León, 2010). Silva (2008) presenta valores similares (0,47) para sus ejemplares, clasificándola como una madera de peso mediano, contracciones bajas y buena estabilidad dimensional, lo que coincide con este estudio.

Las bajas contracciones de ambas especies se pueden deber a que haya un menor número de radicales libres en las paredes celulares, para albergar moléculas de agua; la especie con menor valor de coeficiente de anisotropía, *H. polyandra*, tiene mayor estabilidad dimensional y por lo tanto, menor riesgo de que aparezcan grietas de la madera durante el proceso de secado, que a su vez es más lento que el de la especie más ligera. Otras variables que influyen en este comportamiento son las dimensiones de los elementos constitutivos y los tipos de contenidos presentes que retrasan la salida del agua libre (De la Paz y Dávalos, 2008).

En el presente estudio, los valores del módulo de ruptura en la prueba de flexión (41,4 MPa) y los valores de dureza (2,28 kN y3,04 kN para lateral y longitudinal, respectivamente) de *E. cyclocarpum*, fueron inferiores a lo que presenta Silva (2008), (42,2 MPa a 58,8 MPa) para una densidad de 0,38 - 0,52, asimismo, se encontró un valor de cortante paralelo (7,1 MPa) igual a lo determinado por González *et al.* (2004) (7,2 MPa) con madera de mayor densidad (0,37). La resistencia al impacto está en relación directa al grosor de la pared de las fibras. Las propiedades mecánicas de *H. polyandra* la describen como una madera dura, resistente a la flexión, a la compresión perpendicular y paralela, así como al cortante paralelo.

Estos resultados tienen valores más altosque los obtenidos por Echenique-Manrique (1970) y menores a lo descrito por Silva (2008) en madera con menor y similar densidad, respectivamente.

En ambas especies se aprecian características que dificultan su aserrío. El aserrín de *E. cyclocarpum* afecta las vías respiratorias de algunas personas y la savia de *H. polyandra* es urticante para la piel y los ojos.

De acuerdo con una estimación previa del crecimiento se encontró que la edad de los árboles estudiados de *E. cyclocarpum* es de entre 12 y 18 años y los de *H. polyandra* de aproximadamente 20 años (Pineda *et al.*, 2011).

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que la madera de *E. cyclocarpum* es apta para usarse en artesanías, decoración de interiores, chapa, lambrín y muebles, quedando descartados aquellos usos que requieran de piezas con resistencia a esfuerzos estructurales altos como construcción o piezas sometidas a alto impacto como mangos de herramientas o al desgaste como duelas. En ocasiones se emplea en la forma de utensilios de cocina, lo que concuerda con las características organolépticas determinadas en este trabajo. *H. polyandra* puede emplearse en construcciones rurales, chapas, embalajes, muebles y madera contrachapada (triplay). No se recomienda para piezas de alta resistencia al impacto como mangos de herramientas.

CONCLUSIONES

El conocimiento de las características de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* (parota) y *Hura polyandra* (habillo), aunado a información sobre su crecimiento y fenología, permitirá a los productores, industriales y artesanos emplearla de manera más eficiente por tener características muy adecuadas para usos prácticos amplios. *E. cyclocarpum* es apta para múltiples productos por ser una madera liviana, más no para uso estructural debido a la baja resistencia que presenta ante los diferentes esfuerzos. *H. polyandra* se podría utilizar en una gama de aplicaciones que hasta el momento no se le han dado en la región. Dado el valor potencial de ambas especies, se recomienda que los propietarios del recurso consideren emprender acciones de certificación del manejo forestal por parte de entidades reconocidas nacionalmente.

AGRADECIMIENTOS

A los señores Hipólito Herrera y Félix Bustos por las facilidades para la recolección del material de estudio. A la M. en I. Reyna Paula Zárate Morales del Inecol, por la preparación del material para las pruebas y la realización de las pruebas físicas y mecánicas, a la doctora Guadalupe M. Bárcenas del Inecol por las facilidades prestadas para el uso del LINCE-Laboratorio de Pruebas, a la doctora Alejandra Quintanar de la UAMI por su ayuda en la anatomía de las puntuaciones, a la Coordinación del Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud por el apoyo económico y al Conacyt por la beca de posgrado.

REFERENCIAS

ASTM (American Society for Testing and Materials). 2010. ASTM D143-09. Standard methods of testing small clear specimens of timber. ASTM International, West Conshohocken, PA. Vol. 4.10. 31 p.

ASTM. (American Society for Testing and Materials). 1998. ASTM D2915. Standard methods for evaluating allowable properties for grades of structural lumber. Annual Book of Standards. 1970 to 2000 edition. West Conshohocken, PA.

Chattaway, M. 1932. Proposed standards for numerical values used in describing woods. Tropical Woods 9:20-28.

Chattaway, M. 1955. Crystals in woody tissues I. Tropical Woods 102:55-74.

Cárdenas, E. 1971. Estudio anatómico de la madera de 8 especies de leguminosas. Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. 54p.

Corral, G. 1985. Características anatómicas de la madera de once especies tropicales. Bol. Téc. Inst. Nac. Invest. For. México, núm. 127.

Dávalos, R. y G. Bárcenas. 1999. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición seca. *Madera y Bosques* 5(1):61-69.

De la Paz Pérez, C. y R. Dávalos-Sotelo. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* 14(3):43-80.

Echenique-Manrique, R. 1970. Descripción, características y usos de 25 maderas tropicales mexicanas. Maderas de México. Número 1. Cámara Nacional de la Industria de la Construcción, México. 237p.

Echenique-Manrique, R., J. Barajas, L. Pinzón y V. Pérez. 1975. Características tecnológicas de la madera de 10 especies en: Estudio botánico y ecológico de la región del río Uxpanapa, Veracruz núm. 1. Inireb. 66 p.

González I, M. Cerón y L. Solís. 2004. Esfuerzos cortante y de tensión paralelos a la fibra en madera tropical de crecimiento rápido. Ingeniería 8(1):23-32.

Guridi G., L. 1980. La madera en las artesanías del Estado de Michoacán. Bol. Div. Inst. Nac. Invest. For. México núm. 50.

IAWA Committee. 1937. Standards terms of length of vessels members and wood fibers. Tropical Woods 51:21-22.

IAWA Committee. 1939. Standards terms of size for vessels diameter and ray width. Tropical Woods 59:51-52.

IAWA Committee. 1964. Multilingual glossary of terms used in wood anatomy. Committee on Nomenclature. Suiza. 186p.

IAWA Committee.1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin 10(3):219-332.

INEGI. 2005. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación: escala 1:250 000. Serie III (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, Ags.

INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/12/12038.pdf. Consultado el 12 de enero de 2012.

Johansen, D. 1940. Plant microtechnique. McGraw-Hill. Nueva York. 523p.

Keenan, F.J. y M. Tejada. 1987. Maderas tropicales como material de construcción en los países del Grupo Andino de América del Sur. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Bogotá, Colombia. 147 p.

León, W. 2010. Anatomía y densidad o peso específico de la madera. Rev. For. Venez. 54:67-76.

Longwood, F.R. 1961. Puerto Rican woods. Their machining, seasoning and related characteristics. Agriculture Handbook num. 205, USDAFS, Washington, D.C. 98p.

Morán, M.M., F. Carrera G., J.J. Campos A., L. Bastiaan, D. Delgado y G. Galloway. 2008. Evaluación de la sostenibilidad del manejo forestal comunitario en ejidos del estado de Guerrero, en: http://web.catie.ac.cr/informacion/RFCA/rev49-50/Pages%20124-130.pdf. Consultado el 25 de enero de 2012.

Munsell. 1990. Munsell soil color charts. Baltimore, Maryland. 17p.

Panshin, A.J. y C. de Zeew. 1970. Textbook of wood technology. Vol. 1, McGraw-Hill Book Co., Nueva York. 705p.

Pennington, T.D. y J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies. UNAM-FCE México. D.F. 521p.

Pineda, E., C. de la Paz Pérez, R. Dávalos, J.I. Valdez y R.P. Zárate. 2011. Crecimiento, anatomía y propiedades físico-mecánicas de la madera de dos especies tropicales de Costa Grande, Guerrero. Memorias del XVI Foro de estudios sobre Guerrero. p 160-163.

Pineda, E., C. de la Paz Pérez y J.I. Valdez. 2012. El aprovechamiento maderable en Costa Grande, Guerrero. Biodiversitas 102:6-12.

Robles, F. 1978. Propiedades y usos de 14 especies tropicales de rápido crecimiento del campo experimental forestal El Tormento. Bol. Inst. Nac. Invest. For. México núm. 16.

Rodríguez, A. 2009. Caracterización de la fabricación de muebles de madera en el municipio de La Unión del estado de Guerrero. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, México.

Román, L., A. Mora y A. Gallegos. 2011. Árboles tropicales de uso múltiple en la costa de Jalisco, México. In: Bosques y arboles del trópico mexicano: estructura, crecimiento y usos. J.I. Valdez, A. Mora y R. Endara (eds.). Prometeo Eds. 107 p.

Sallenave, P. 1955. Proprietes physiques et mechaniques des bois tropicaux de Lunion Francaise. Centro Techique Forestier Tropical. Nagent. Sur-Marne.

Sandoval, E. 2005. Técnicas aplicadas al estudio de la anatomía vegetal. Cuadernos del Instituto de Biología 38. UNAM. México, D.F. 281p.

Silva, J.A. 2008. Fichas técnicas sobre características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México. Coordinación, Educación y Desarrollo Tecnológico. Conafor. 62p.

SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2012. Datos de precipitación y temperatura de la estación automática Vallecitos de Zaragoza. Mayo de 2012.

Tortorelli, L. 1956. Maderas y bosques argentinos. ACME. Buenos Aires. 910p.

Zavala, D. 2000. Secado de maderas en estufas convencionales. *Madera y Bosques* 6(1):41-54.

Manuscrito recibido el 7 de septiembre de 2012.
Aceptado el 22 de noviembre de 2012.

Este documento se debe citar como:
Pineda-Herrera, E., C. de la Paz Pérez-Olvera, R. Dávalos-Sotelo y J.I. Valdez-Hernández. 2012. Características tecnológicas de la madera de dos especies de Costa Grande, Guerrero, México. *Madera y Bosques* 18(3):53-71.

MADERA Y BOSQUES Vol. 18 Núm. 3
Se terminó de imprimir en el mes de diciembre de 2012
en los talleres de Tavera Hermanos, S.A. de C.V.
Av. Lázaro Cárdenas 3052. Col. Chapultepec Sur.
CP 58260, Morelia, Michoacán.

La edición consta de 300 ejemplares
más sobrantes para reposición.



Madera y Bosques 18(3), 2012

CONTENIDO